



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i  
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**TÍTULO DEL PFC:** WRF simulation of the atmospheric conditions in some aircraft accidents

**TITULACIÓN:** Ingeniería Técnica Aeronáutica, especialidad Aeronavegación

**AUTOR:** Miguel Lozano Sánchez

**DIRECTOR:** Jordi Mazón Bueso

**FECHA:** 26 de julio de 2013



**Título: WRF simulation of the atmospheric conditions in some aircraft accidents**

**Autor: Miguel Lozano Sánchez**

**Director: Jordi Mazón Bueso**

**Fecha: 26 de julio de 2013**

## **Resumen**

Las aeronaves comerciales que transportan pasajeros se enfrentan diariamente a tormentas, nieblas, vientos de cizalla, cenizas de volcán, lluvias intensas, turbulencias y otros fenómenos meteorológicos que dejan a los pasajeros con el corazón en un puño en el mejor de los casos.

En el presente documento, se exponen detalladamente, cuáles son los efectos de estos fenómenos sobre las performances de la aeronave y de las instalaciones aeroportuarias.

Complementariamente se realiza un estudio sobre el impacto que han tenido estos fenómenos meteorológicos en la seguridad aérea, a nivel mundial, en el período de 1967 a 2010. En concreto se analiza su repercusión sobre el número de accidentes aéreos y el número de fallecidos, en función de la fase de vuelo, de la zona climática del planeta y de la estación del año. Como resultado del análisis, se observa que la siniestralidad aérea por causas atmosféricas, representa el 40,7% de los sucesos, ocurridos durante este período y tiene además una clara evolución descendente desde la década de los 90. Las causas más importantes durante las fases de vuelo cercanas a tierra son la baja visibilidad, la niebla, y la lluvia, mientras que para mayor altitud lo son las turbulencias, las CATs y las tormentas. Respecto a la distribución, se obtiene que la probabilidad de sufrir un accidente, aumenta durante el invierno en las zonas templadas, corriendo especialmente riesgo durante la fase de aproximación.

Para corroborar la influencia de la meteorología en la aviación, también se ha analizado la erupción del Monte Pinatubo de 1991, que elevó el número de accidentes aéreos por causas meteorológicas en 1993 a 47, alterando el clima del planeta (oscilación ártica), especialmente en las latitudes altas de las zonas templadas, provocando la aparición y desaparición de fenómenos meteorológicos en regiones atípicas. Exponiéndose también, que a partir de 2050 como consecuencia del calentamiento global y la mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, las aeronaves encontrarán con mayor frecuencia e intensidad turbulencias durante la fase de crucero.

Adicionalmente se estudia el caso del accidente del AF447 del 1 de Junio de 2009 mediante el modelo WRF, remarcándose mediante este ejemplo

relativamente actual, la vulnerabilidad todavía existente de las aeronaves modernas ante fenómenos meteorológicos como el engelamiento unido a las malas decisiones de los pilotos y a unos criterios de certificación de las sondas de Pitot que no se ajustan a los parámetros que se encuentran realmente en la alta troposfera.

Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo es demostrar que a pesar de los avances tecnológicos, la formación sistemática de los pilotos, y la mejora en el conocimiento de la atmosfera, las aeronaves actuales siguen dependiendo aunque en menor medida, de las condiciones del medio en el que se mueven, siendo necesario seguir investigando para conocer mejor la atmosfera.

**Title: WRF simulation of the atmospheric conditions in some aircraft accidents**

**Author: Miguel Lozano Sánchez**

**Director: Jordi Mazón Bueso**

**Date: July, 26th 2013**

## **Overview**

Aviation, probably more than any other mode of transportation, is greatly affected by weather. Commercial aviation must deal with storms, fogs, windshears, ash from the volcanoes, intense rain, turbulences and other weather phenomena regularly.

In this document are exposed in detail the effects of these phenomena on the aircraft's performance and on the airport facilities.

Additionally, it is performed too, a study of the impact that these weather phenomena have had in aviation in the period from 1967 to 2010 at global level. The study shall, in particular, analyze the impact of these phenomena on the number of accidents per year and the number of fatalities per year, according to the phase of flight, the climatic zone and the meteorological seasons. As result of the analysis, it is necessary to note, that the number of accidents due to unfavorable weather conditions represent 40,7 % of the events, which occurred during this period and has a clear descending evolution since the 1990s. Most accidents and fatalities take place during the take-off, climb, approach and landing stages. During these phases aircrafts are close to the ground and in a more vulnerable configuration than during other flight phases, also a external perturbation induced by low visibility, fog, or rain can crash the aircraft.

During the enroute phase of flight, turbulences, CATs and storms are especially hazardous to modern jet aircrafts structures. The probability to suffer an accident increases in temperate zones during the approach phase in winter.

The eruption of Mount Pinatubo in 1991, which raised the number of accidents for meteorological reasons in 1993 to 47, altered the Earth's climate (Arctic Oscillation) specifically in the high latitudes of the temperate zones, leading to the appearance and disappearance of meteorological phenomena on atypical regions. The study of the University of Reading, which used the same turbulence models that air traffic controllers use every day, found that the frequency of turbulence on the many flights will double by 2050 and its intensity increase by 10-40%. That's a reason to investigate more; we have to know better our atmosphere.

Additionally it is studied the case of the accident of AF447 of June 1, 2009 with the help of the WRF model, remarking through this relatively current example, the affect of the weather phenomena on the modern aircraft.

Therefore, the primary aim of this study is to prove, that aircraft remain dependent on weather conditions.

Quiero dedicar este trabajo a mi familia y a mi novia Aurora por todo el apoyo brindado en estos últimos meses.

También a Jordi Mazón, profesor del departamento de Física Aplicada y director de este proyecto por toda la ayuda ofrecida de forma totalmente desinteresada.





# ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1. FENÓMENOS METEOROLÓGICOS QUE AFECTAN A LA AVIACIÓN .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.1. Englamiento (ICE).....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1.1.1. Factores ambientales influyentes en la formación del tipo de hielo.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.1.2. Tipos de englamiento .....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1.2.1. <i>Hielo claro.....</i>   | <i>4</i>  |
| 1.1.2.2. <i>Hielo granulado.....</i>   | <i>4</i>  |
| 1.1.2.3. <i>Escarcha.....</i>  | <i>4</i>  |
| 1.1.2.4. <i>Hielo mixto .....</i>  | <i>4</i>  |
| <b>1.1.3. Efecto de la acumulación de hielo en las aeronaves .....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1.3.1. <i>Formación de hielo en los bordes de ataque del ala .....</i>   | <i>5</i>  |
| 1.1.3.2. <i>Formación de hielo en los alerones .....</i>   | <i>5</i>  |
| 1.1.3.3. <i>Formación de hielo en el estabilizador horizontal .....</i>  | <i>5</i>  |
| 1.1.3.4. <i>Formación de hielo en hélices .....</i>  | <i>6</i>  |
| 1.1.3.5. <i>Formación de hielo en el tubo PITOT y en la toma estática .....</i>  | <i>6</i>  |
| 1.1.3.6. <i>Formación de hielo en la entrada del motor y en el carburador..</i>  | <i>6</i>  |
| 1.1.3.6.1. <i>Hielo en la boca del motor.....</i>  | <i>6</i>  |
| 1.1.3.6.2. <i>Hielo en el carburador.....</i>  | <i>7</i>  |
| 1.1.3.7. <i>Otras zonas de la aeronave propensas a la formación de hielo .</i>   | <i>7</i>  |
| <b>1.2. Visibilidad (VIS).....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>1.2.1. Tipos de visibilidad.....</b>  | <b>8</b>  |
| 1.2.1.1. <i>Visibilidad horizontal .....</i>   | <i>8</i>  |
| 1.2.1.1.1. <i>RVR.....</i>   | <i>8</i>  |
| 1.2.1.1.1.2. <i>¿Cómo se ven afectadas las operaciones aéreas por la RVR?.....</i>   | <i>8</i>  |
| 1.2.1.2. <i>Visibilidad vertical .....</i>   | <i>9</i>  |
| 1.2.1.3. <i>Visibilidad oblicua .....</i>  | <i>9</i>  |
| <b>1.2.2. Factores que afectan a la visibilidad horizontal .....</b>   | <b>9</b>  |
| 1.2.2.1. <i>Características del observable.....</i>  | <i>9</i>  |
| 1.2.2.2. <i>Características de la pista.....</i>   | <i>9</i>  |
| 1.2.2.2.1. <i>Inclinación del terreno en las proximidades de la cabecera .</i>   | <i>9</i>  |
| 1.2.2.2.2. <i>Ancho de la pista.....</i>   | <i>10</i> |
| 1.2.2.2.3. <i>Balizaje de la pista .....</i>   | <i>10</i> |
| 1.2.2.3. <i>Condiciones meteorológicas que reducen la visibilidad y a la vez las performances aerodinámicas de la aeronave .....</i> | <i>11</i> |
| 1.2.2.3.1. <i>Posición del sol .....</i>   | <i>11</i> |
| 1.2.2.3.2. <i>Viento.....</i>  | <i>11</i> |
| 1.2.2.3.3. <i>Lluvia (RA) .....</i>  | <i>11</i> |
| 1.2.2.3.3.1. <i>¿Cómo afecta la lluvia a las performances de la aeronave?.....</i>   | <i>12</i> |
| 1.2.2.3.4. <i>Nieve (SN).....</i>  | <i>12</i> |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.2.2.3.4.1. ¿Cómo afecta la nieve a las performances de la aeronave?.....  | 13        |
| 1.2.2.3.5. Tempestad de arena o polvo (SA o DS).....  | 14        |
| 1.2.2.3.6. La niebla la reina de los fenómenos meteorológicos en cuanto a la reducción de la visibilidad.....                   | 14        |
| <b>1.3. Turbulencias.....</b>   | <b>15</b> |
| 1.3.1. Tipos de turbulencias.....   | 15        |
| 1.3.1.1. Turbulencia mecánica.....  | 15        |
| 1.3.1.2. Turbulencia térmica o convectiva.....  | 16        |
| 1.3.1.3. Turbulencia de aire claro (CAT).....   | 16        |
| 1.3.1.4. La onda de montaña y la onda de gravedad.....  | 17        |
| 1.3.1.4.1. Requisitos necesarios para la formación de la onda de montaña.....   | 17        |
| 1.3.2. Efectos de las turbulencias sobre las aeronaves.....   | 18        |
| <b>CAPÍTULO 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO A NIVEL MUNDIAL DE ACCIDENTES AÉREOS, 1967 - 2010.....</b>                                  | <b>19</b> |
| 2.1. Conceptos previos a tener en cuenta antes del análisis   | 19        |
| 2.2. Análisis del número de accidentes aéreos, 1967 – 2010  | 20        |
| 2.2.1. ¿Por qué aumentó en 1993 repentinamente el número de accidentes aéreos causados por fenómenos meteorológicos?            | 22        |
| 2.2.1.1. Explicación del crecimiento anómalo de accidentes aéreos por causas meteorológicas en la zona 3, 1993.....             | 23        |
| 2.3. Análisis del número de ocupantes fallecidos, 1967 - 2010.....  | 24        |
| 2.4. ¿Cuáles son las fases de vuelo más propensas a sufrir accidentes aéreos por condiciones meteorológicas adversas? .....     | 26        |
| 2.4.1. ¿Los datos obtenidos del estudio se ajustan a la realidad? .....   | 27        |
| 2.4.2. Estudio de la influencia de la meteorología en las fases de despegue, ascenso, descenso, aproximación y aterrizaje ..... | 28        |
| 2.4.2.1. Visibilidad.....   | 29        |
| 2.4.2.2. Turbulencias.....  | 29        |
| 2.4.2.3. Lluvias, nieve y tormentas.....  | 30        |
| 2.4.2.4. Niebla.....  | 30        |
| 2.4.2.5. Engelamiento.....  | 31        |
| 2.4.3. Estudio de la influencia de la meteorología en la fase de crucero.....   | 31        |
| 2.4.4. ¿Influyen las estaciones del año en el número de accidentes aéreos?.....   | 32        |
| <b>CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL MODELO WRF PARA LA SIMULACIÓN, LA RECONSTRUCCIÓN Y EL</b>   |           |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS PRESENTES EN LA RUTA DEL AF447 .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>3.1. Datos generales del accidente .....</b>  | <b>34</b> |
| <b>3.2. Análisis de las condiciones meteorológicas presentes .</b>   | <b>35</b> |
| <b>3.2.1. Perfil vertical de la atmosfera .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>Figura 3.1. Radiosondeo, 82400 SBFN Fernando De Noronha a las 00:00 UTC del 01 de Junio de 2009 [15] .....</b>  | <b>35</b> |
| <i>3.2.1.1. Fenómenos meteorológicos presentes en la distribución del perfil vertical de la atmosfera, determinados como no responsables o contribuyentes al accidente aéreo .....</i> | <i>36</i> |
| <i>3.2.1.2. Hipótesis de los fenómenos meteorológicos responsables o contribuyentes al accidente aéreo a partir del radiosondeo.....</i>   | <i>36</i> |
| <b>3.2.2. Ubicación y análisis meteorológico de las posibles tormentas presentes en la ruta del AF447.....</b>   | <b>37</b> |
| <i>3.2.2.1. ¿ Qué es una fotografía de satélite IR y por qué utilizar una fotografía IR?.....</i>  | <i>37</i> |
| <i>3.2.2.2. Limitaciones presentes en el análisis meteorológico de una fotografía IR.....</i>  | <i>37</i> |
| <i>3.2.2.3. ¿ Cómo se ha mitigado ligeramente este problema? .....</i>   | <i>37</i> |
| <i>3.2.2.4. Análisis de la fotografía IR (<math>\lambda = 10,8 \mu\text{m}</math>) tomada por el satélite Meteosat-9 a las 02:00 UTC.....</i>  | <i>38</i> |
| <i>3.2.2.5. Análisis de la estructura interna del MCS mediante el modelo WRF .....</i>   | <i>39</i> |
| <i>3.2.2.6. Análisis de la precipitación presente en el MCS.....</i>   | <i>41</i> |
| <i>3.2.2.7. Conclusiones del análisis del MCS.....</i>   | <i>42</i> |
| <b>3.3. ¿Qué efecto tuvieron las condiciones meteorológicas presentes, sobre los sistemas de la aeronave y las decisiones de los pilotos?.....</b>                                     | <b>43</b> |
| <b>3.3.1. ¿Por qué no alteró el vuelo 447 su ruta para rodear el sistema convectivo de mesoscala? .....</b>  | <b>43</b> |
| <b>3.3.2. Reporte ACARS.....</b>   | <b>44</b> |
| <i>3.3.2.1. ¿Fallaron realmente todos los componentes de los sistemas expuestos en el reporte o se produjo un fallo en cascada?.....</i>   | <i>45</i> |
| <i>3.3.2.2. Estudio del funcionamiento del sistema ADIRS.....</i>  | <i>45</i> |
| <i>3.3.2.3. ¿Por qué fallaron las sondas pitot? .....</i>  | <i>47</i> |
| <i>3.3.2.3.1. ¿Cumplían las sondas con los requerimientos de anti-icing? .....</i>   | <i>47</i> |
| <i>3.3.2.4. ¿Propagación del error al resto de sistemas vinculados e influencia sobre las decisiones de los pilotos? .....</i>   | <i>48</i> |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>   | <b>50</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>   | <b>52</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ANEXO 1. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA SOBRE<br/>LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS QUE AFECTAN<br/>A LA AVIACIÓN.....</b>                                  | <b>59</b> |
| <b>ANEXO 2. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA AL<br/>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ACCIDENTES<br/>AÉREOS OCURRIDOS ENTRE 1967 Y 2010 .....</b>                 | <b>61</b> |
| A2.1. Listado de accidentes aéreos causados por<br>meteorología adversa.....  | 61        |
| A2.2. Tablas generadas para crear los gráficos.....   | 80        |
| <b>ANEXO 3. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA AL<br/>ANÁLISIS METEOROLÓGICO DEL AIR FRANCE 447..</b>   | <b>83</b> |
| A3.1. Motivación del análisis del accidente del AF447.....  | 83        |
| A3.2. Ruta realizada por el Air France 447 trazada con Google<br>Earth .....  | 84        |
| A3.3. Lista de parámetros del radiosondeo de la estación<br>SBFN del 1 de junio de 2009 a las 00:00 UTC distribuidos por<br>altitud barométrica ..... | 84        |
| A3.4. Carta de circulación del viento entre los 100 mb y 500<br>mb.....   | 87        |
| A3.5. Visualización de la formación y el desarrollo del MCS<br>situado entre los Waypoints SALPU y TASIL de la ruta .....                             | 88        |
| A3.6. Tabla ISA .....   | 90        |
| A3.7. Distribución y concentración general de los<br>hidrometeoros presentes en nubosidad fuertemente<br>convectiva .....                             | 91        |
| A3.8. Presencia de fenómenos propios de tormentas<br>eléctricas .....   | 92        |
| A3.9. Estudio del factor de carga registrado sobre las<br>superficies de control y el fuselaje del AF447 .....  | 92        |
| A3.10. Certification envelope de las sondas Pitot .....   | 93        |
| A3.11. Detección de cristales de hielo mediante el radar<br>meteorológico .....   | 94        |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.1.</b> Zonas de la aeronave propensas a la formación de hielo .....   | 4  |
| <b>Figura 1.2.</b> Perfiles alares contaminados por hielo granular y hielo claro.....   | 5  |
| <b>Figura 1.3.</b> Factores aerodinámicos implicados en la formación de hielo.....  | 5  |
| <b>Figura 1.4.</b> Sistema pitot-estática [43] .....  | 6  |
| <b>Figura 1.5.</b> Toma de aire de un motor y un carburador contaminado .....   | 6  |
| <b>Figura 1.6.</b> Ilusión óptica a causa de la inclinación del terreno en las proximidades de la cabecera.....   | 10 |
| <b>Figura 1.7.</b> Ilusión óptica causada por el ancho de la pista. Los tres paneles muestran la visión de un piloto desde una aeronave a 200 kts en una senda de aproximación de 3° y a la misma altitud ..... | 10 |
| <b>Figura 1.8.</b> Pista de aterrizaje poco visible por contaminación lumínica (a la izquierda), pista fuertemente iluminada en una noche oscura (a la derecha) ..  | 10 |
| <b>Figura 1.9.</b> Temperatura interior de una térmica (a la izquierda) y velocidad vertical de ascenso de la térmica (a la derecha) .....  | 16 |
| <b>Figura 1.10.</b> Sección transversal de la corriente en chorro y CAT asociada ...  | 17 |
| <b>Figura 1.11.</b> Onda de montaña, vista aérea a la izquierda, a la derecha .....   | 18 |
| <b>Figura 1.12.</b> Influencia de una térmica sobre la aeronave en el descenso .....  | 18 |
| <b>Figura 2.1.</b> Comparación anual entre el número de accidentes aéreos total, y el número de accidentes cuya causa primaria o contributiva es la meteorología.   | 20 |
| <b>Figura 2.2.</b> Ratio accidentes aéreos por número de operaciones anuales .....  | 21 |
| <b>Figura 2.3.</b> Gráfico comparativo entre 1992, 1993 y 1994 del número de accidentes aéreos por causas meteorológicas distribuidos por zonas climáticas .....  | 22 |
| <b>Figura 2.4.</b> Distribución de los fenómenos meteorológicos por zona climática y por año. ....  | 23 |
| <b>Figura 2.5.</b> Número de personas accidentadas entre 1967 y 2010 .....  | 25 |
| <b>Figura 2.6.</b> Distribución de accidentes aéreos por fases de vuelo.....  | 26 |
| <b>Figura 2.7.</b> Comparativa de gráficos entre las distintas fases de vuelo, mostrando la influencia de los distintos fenómenos meteorológicos analizados sobre ellas .....                                   | 29 |
| <b>Figura 2.8.</b> Distribución porcentual de los fenómenos meteorológicos, que han causado o contribuido a accidentes aéreos durante la fase de crucero.....   | 31 |
| <b>Figura 2.9.</b> Distribución de accidentes aéreos por causas meteorológicas en función de la estación del año, y de la zona climática .....  | 32 |
| <b>Figura 3.1.</b> Radiosondeo, 82400 SBFN Fernando De Noronha a las 00:00 UTC del 01 de Junio de 2009 .....  | 35 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 3.2.</b> Fotografía proporcionada por el satélite Meteosat-9 realizada en infrarrojo del MCS presente en la ruta del Air France 447.....   | <b>38</b> |
| <b>Figura 3.3.</b> Simulación con el modelo WRF del Cloud Mixing Ratio presente a lo largo de la estructura vertical MCS.....  | <b>39</b> |
| <b>Figura 3.4.</b> Perfil vertical de la temperatura en la región y hora del accidente a partir de la simulación WRF en el punto lat -1,55 y lon -33,15 .....  | <b>40</b> |
| <b>Figura 3.5.</b> Simulación de la precipitación en mm del MCS a 10 km.....   | <b>42</b> |
| <b>Figura 3.6.</b> Detección de un MCS en el WXR de un A330 .....  | <b>43</b> |
| <b>Figura 3.7.</b> Mensajes de alertas y fallas emitidos por el ACARS durante los últimos 4 min de vuelo.....  | <b>44</b> |
| <b>Figura 3.8.</b> Arquitectura del sistema ADIRS del A330-203.....  | <b>45</b> |
| <b>Figura 3.9.</b> Sonda de pitot THALES C16195AA (con protecciones) .....   | <b>47</b> |
| <b>Figura 3.10.</b> Arquitectura del sistema del piloto automático del A330-203 .....  | <b>48</b> |
| <b>Figura A1.1.</b> Operaciones aéreas con pistas contaminadas por nieve, Aeropuerto de Denver .....   | <b>60</b> |
| <b>Figura A1.2.</b> Imagen tomada desde satélite de una tormenta de arena sahariana sobre el Océano Atlántico.....   | <b>60</b> |
| <b>Figura A3.2.</b> Carta que muestra la circulación y la velocidad del viento en la alta troposfera, entre los 100 mb y los 250 mb, los 251 mb y los 350 mb, y los 351 mb y 500 mb.....                   | <b>87</b> |
| <b>Figura A3.3.</b> Fotografías realizadas en IR del MCS tomadas por el satélite GOES-10, entre las 20:00 UTC del 31 de mayo de 2009 y las 04:00 UTC del 1 de junio de 2009.....                           | <b>89</b> |
| <b>Figura A3.4.</b> Tabla ISA, en la que se ha marcado la posición de la melting layer y la temperatura de vuelo registrada, pudiéndose diferenciar como distan los datos observados de los esperados..... | <b>90</b> |
| <b>Figura A3.5.</b> a) Cloud- ice, b) Cloud liquid water, c) Graupel, d) Snow y e) Rain en 3D y en 2D(X) y 2D(Y), la recta roja indica el nivel de vuelo del AF447 .....                                   | <b>91</b> |
| <b>Figura A3.6.</b> Fuego de San Telmo en la cabina de un A320 .....   | <b>92</b> |
| <b>Figura A3.7.</b> Nivel de turbulencia observado a lo largo de todo el vuelo .....   | <b>92</b> |
| <b>Figura A3.8.</b> Certification envelope JAR.25.1419 de las sondas Pitot Thales C16195AA.....  | <b>93</b> |
| <b>Figura A3.9.</b> Explicación mediante la ecuación radar de las dificultades para detectar cristales de hielo en la alta troposfera .....  | <b>94</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.1.</b> Reducción de visibilidad vs. Intensidad de las lluvias y lloviznas...   | 11 |
| <b>Tabla 1.2.</b> Reducción de la visibilidad vs. Intensidad de las nevadas.....  | 12 |
| <b>Tabla 1.3.</b> Reducción de la visibilidad vs. Intensidad de las DS .....  | 14 |
| <b>Tabla 1.4.</b> Reducción de visibilidad en el interior de las nieblas y neblinas .....   | 15 |
| <b>Figura 1.9.</b> Temperatura interior de una térmica (a la izquierda) y velocidad vertical de ascenso de la térmica (a la derecha) .....  | 16 |
| <b>Tabla 2.1.</b> Datos numéricos del gráfico de la <i>Figura 2.1.</i> , accidentes aéreos en general (negro) y por causa meteorológica (rojo), N/D = No Data .....   | 20 |
| <b>Tabla 2.2.</b> Comparativa entre la tasa de mortalidad anual de ocupantes de aeronaves accidentadas en general y la tasa de mortalidad anual de ocupantes de aeronaves accidentadas bajo condiciones meteorológicas adversas ..... | 26 |
| <b>Tabla 2.3.</b> Comparativa entre accidentes a nivel global y accidentes por causas meteorológicas en las fases de vuelo cercanas a tierra.....   | 27 |
| <b>Tabla A1.1.</b> Categoría de ILS necesaria en pista en función de la RVR.....  | 59 |
| <b>Tabla A1.2.</b> Probabilidad e intensidad de la formación de hielo bajo diferentes tipos de nubes .....  | 59 |
| <b>Tabla A1.3.</b> Corrientes verticales típicas, debida a la convección .....  | 59 |
| <b>Tabla A1.4.</b> Visibilidad en función del tipo de nube .....  | 60 |
| <b>Tabla A2.1.</b> Accidentes aéreos causados por CAT o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno.....   | 61 |
| <b>Tabla A2.2.</b> Accidentes aéreos causados por baja visibilidad .....  | 62 |
| <b>Tabla A2.3.</b> Accidentes aéreos causados por niebla o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno .....   | 67 |
| <b>Tabla A2.4.</b> Accidentes aéreos causados por nieve o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno.....   | 69 |
| <b>Tabla A2.5.</b> Accidentes aéreos causados por lluvia o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno.....  | 70 |
| <b>Tabla A2.6.</b> Accidentes aéreos causados por Icing o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno.....   | 73 |
| <b>Tabla A2.7.</b> Accidentes aéreos causados por tormentas o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno .....  | 74 |
| <b>Tabla A2.8.</b> Accidentes aéreos causados por turbulencias o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno .....   | 75 |
| <b>Tabla A2.9.</b> Distribución de accidentes aéreos en función del fenómeno meteorológico causante o contributivo y de la zona climática, durante 1992, 1993 y 1994.....   | 80 |
| <b>Tabla A2.10.</b> Distribución de accidentes aéreos causados por meteorología adversa por meses y zonas climáticas.....   | 80 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabla A2.11.</b> Distribución de accidentes aéreos en función del fenómeno meteorológico presente y de la zona climática .....   | <b>80</b> |
| <b>Tabla A2.12.</b> Accidentes aéreos en función de la zona climática .....   | <b>81</b> |
| <b>Tabla A2.13.</b> Distribución de accidentes aéreos en función del fenómeno meteorológico y de la fase de vuelo .....   | <b>81</b> |
| <b>Tabla A2.14.</b> Distribución de pasajeros accidentados y fallecidos en función del fenómeno meteorológico presente y de la fase de vuelo .....  | <b>81</b> |
| <b>Tabla A2.15.</b> Comparación del número de accidentes, personas accidentadas y número de fallecidos entre el total y los accidentes meteorológicos causados por meteorología adversa por fase de vuelo ..... | <b>82</b> |
| <b>Tabla 2.16.</b> Comparación anual entre accidentes aéreos, personas accidentadas, fallecidos, y tasa de mortalidad en general y por causas meteorológicas .....  | <b>82</b> |
| <b>Tabla A3.1.</b> Sounding: 82400 SBFN Fernando De Noronha Observations at 00Z 01 Jun 2009 .....   | <b>84</b> |



## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

|              |   |
|--------------|---|
| <b>ACARS</b> | Aircraft Communications Addressing and Reporting System |
| <b>ACRO</b>  | Aircraft Crashes Record Office                          |
| <b>ADIRS</b> | Air Data Inertial Reference System                      |
| <b>ADIRU</b> | Air Data Inertial Reference Unit                        |
| <b>ADM</b>   | Air Data Module   |
| <b>ADR</b>   | Air Data Reference                                      |
| <b>AOA</b>   | Angle of Attack   |
| <b>ATCT</b>  | Air Traffic Control Tower                               |
| <br>         |   |
| <b>BEA</b>   | Bureau d'Enquêtes et d'Analyses                         |
| <b>BR</b>    | Mist  |
| <br>         |   |
| <b>CAA</b>   | Civil Aviation Authority                                |
| <b>CAPE</b>  | Convective Available Potential Energy                   |
| <b>CAS</b>   | Calibrated Airspeed                                     |
| <b>CAT</b>   | Clear Air Turbulence                                    |
| <b>CB</b>    | Cumulunimbus  |
| <b>CINS</b>  | Convective Inhibition                                   |
| <b>CRSTG</b> | Cabin Safety Research Technical Group                   |
| <br>         |   |
| <b>DH</b>    | Decision High   |
| <b>DS</b>    | Dust Storm  |
| <b>DU</b>    | Dobson Unit   |
| <b>DZ</b>    | Drizzle   |
| <br>         |   |
| <b>ECAM</b>  | Electronic Centralized Aircraft Monitor                 |
| <b>EL</b>    | Equilibrium Level                                       |
| <br>         |   |
| <b>FAA</b>   | Federal Aviation Administration                         |
| <b>FADEC</b> | Full Authority Digital Engine Control                   |
| <b>FG</b>    | Fog   |
| <b>FL</b>    | Flight Level  |
| <b>FMGEC</b> | Flight Management Guidance and Envelope Computer        |
| <b>FZDZ</b>  | Freezing Drizzle  |
| <b>FZFG</b>  | Freezing Fog  |
| <b>FZRA</b>  | Freezing Rain   |
| <br>         |   |
| <b>GFS</b>   | Global Forecast System                                  |
| <br>         |   |
| <b>HZ</b>    | Haze  |
| <br>         |   |
| <b>ICAO</b>  | International Civil Aviation Organization               |
| <b>ICE</b>   | Icing   |
| <b>ICTZ</b>  | Intertropical Convergence Zone                          |
| <b>IFR</b>   | Instrumental Flight Rules                               |
| <b>IFTB</b>  | In Flight Turn Back                                     |
| <b>IMC</b>   | Instrumental Meteorological Conditions                  |

|              |  |
|--------------|--|
| <b>ILS</b>   | Instrumental Landing System                  |
| <b>IR</b>    | Inertial Reference                           |
| <b>ISA</b>   | International Standard Atmosphere            |
| <b>ISIS</b>  | Integrated Standby Instrument System         |
| <b>JAR</b>   | Joint Aviation Requirements                  |
| <b>LCL</b>   | Lifted Condensation Level                    |
| <b>LFC</b>   | Level of Free Convection                     |
| <b>LWC</b>   | Liquid Water Content                         |
| <b>METAR</b> | METeorological Aerodrome Report              |
| <b>MCS</b>   | Mesoscale Convective System                  |
| <b>MLS</b>   | Microwave Landing System                     |
| <b>ND</b>    | Navigation Display                           |
| <b>NS</b>    | Nimbostratus                                 |
| <b>NTSB</b>  | National Transportation Safety Board         |
| <b>OVC</b>   | Overcast                                     |
| <b>PFD</b>   | Primary Flight Display                       |
| <b>PF</b>    | Pilot Flying                                 |
| <b>PRIM</b>  | Primary Computer                             |
| <b>RA</b>    | Rain   |
| <b>RVR</b>   | Runway Visual Range                          |
| <b>RVV</b>   | Runway Visibility Value                      |
| <b>SA</b>    | Sandstorm                                    |
| <b>SAT</b>   | Static Air Temperature                       |
| <b>SEC</b>   | Secondary Computer                           |
| <b>SN</b>    | Snow   |
| <b>ST</b>    | Stratocumulus                                |
| <b>TAS</b>   | True Airspeed                                |
| <b>TAT</b>   | Total Air Temperature                        |
| <b>TCAS</b>  | Traffic alert and Collision Avoidance System |
| <b>TOGA</b>  | Take-Off/Go-Around                           |
| <b>UTC</b>   | Universal Time Coordinated                   |
| <b>VIS</b>   | Visibility                                   |
| <b>VFR</b>   | Visual Flight Rules                          |
| <b>WRF</b>   | Weather Research and Forecasting             |





## INTRODUCCIÓN

Atrás quedan los tiempos en que volar era una peligrosa aventura, en la que se dependía de aeronaves lentas y extremadamente vulnerables a cualquier condición meteorológica adversa.

Hoy en día, el transporte aéreo es el modo de transporte existente más rápido y seguro con diferencia. La aparición del reactor en la década de los 50 permitió alcanzar mayores niveles de vuelo y velocidades superiores a la del sonido, evitando así durante la fase de crucero, la exposición innecesaria de la aeronave a los fenómenos meteorológicos potencialmente peligrosos que se producen normalmente en media y baja cota. La aparición y mejora de sistemas radioeléctricos de guiado en ruta y aterrizaje, así como la incorporación del radar meteorológico junto con la mejora en los modelos numéricos de predicción e información meteorológica, han permitido que las aeronaves puedan operar prácticamente bajo cualquier tipo de condiciones atmosféricas. La eficacia de estos avances en la aviación queda constatada en la actualidad con las declaraciones de Günther Matschnigg (vicepresidente de la IATA), que afirma que en 2012 se obtuvo una media de un accidente aéreo por cada 5,3 millones de vuelos, siendo la probabilidad de una persona de verse envuelta en un accidente aéreo de 1 cada 38 años volando todos los días.

El objetivo principal de este trabajo es demostrar que a pesar de todos estos avances, las aeronaves actuales siguen dependiendo aunque en menor medida, de las condiciones del medio en el que se mueven - la atmósfera.

En el primer capítulo se hace un repaso de los conceptos generales de la meteorología aeronáutica, y se describe muy detalladamente qué fenómenos meteorológicos representan un peligro para la aviación, y cuáles son sus efectos sobre la aeronave y las instalaciones aeroportuarias.

En el segundo capítulo se realiza un estudio estadístico en el período comprendido entre 1967 y 2010, enfocado en ver la influencia de los fenómenos meteorológicos en la seguridad aérea a nivel mundial. Es importante mencionar que en este estudio las causas meteorológicas se consideran como un factor de riesgo y no como el determinante del accidente, puesto que realmente las causas de los accidentes aéreos suelen ser una combinación de este factor con errores en la actuación del piloto, o fallos en los componentes de las aeronaves, es decir normalmente aparece como una causa contributiva.

En el estudio se señala en qué lugares del globo terráqueo se producen con mayor frecuencia determinados fenómenos meteorológicos, cuál es el impacto del cambio climático en las operaciones aéreas, la frecuencia de accidentes aéreos en función de la fase de vuelo y cuál es la causa meteorológica responsable del mayor número de accidentes aéreos actualmente y a lo largo de todo el período. Hubiera sido interesante hacer un estudio de décadas anteriores, en las que se hubiesen podido apreciar variaciones extremas, entre

los valores actuales de accidentes aéreos por causas meteorológicas, y los de la década de 1900, década en la que se incorporó la meteorología como ciencia aplicada a la aviación con el primer vuelo de los hermanos Wright. La lástima es que los datos escaseaban o aparecían incompletos para las décadas anteriores a 1950, hay que recordar que hasta el 11 de abril de 1951 no se creó el Anexo 13 de la ICAO “Investigación de accidentes e incidentes de aviación” que regula la notificación oficial de accidentes e incidentes aéreos y su investigación.

En el tercer capítulo se analiza mediante un simulador con modelo WRF, el accidente del vuelo 447 de Air France ocurrido el 1 de junio de 2009, cuando cubría la ruta de Río de Janeiro a París desaparecido sobre el océano Atlántico con 216 pasajeros y 12 tripulantes a bordo. Se describe cómo se configuró el simulador para ello, determinándose así las condiciones atmosféricas en las que se encontraba la aeronave en el punto de la ruta en el que empezó a tener complicaciones, y cuál fue la influencia de estas sobre la aeronave hasta que se produjo el trágico desenlace. El objetivo de este capítulo es remarcar mediante un ejemplo relativamente actual, la vulnerabilidad todavía existente de las aeronaves modernas ante los fenómenos meteorológicos descrita en el primer capítulo y demostrada en el segundo capítulo mediante estadísticas.

Finalmente, se procederá a sacar las conclusiones obtenidas a lo largo de todo el estudio y del análisis del accidente aéreo del A447. Conclusiones especialmente importantes para la prevención de posibles futuros accidentes aéreos y por lo tanto dirigidas a los operadores de las aeronaves. También se hará una leve mención de cómo afectará el cambio climático en un futuro no muy lejano a las operaciones aéreas dentro de 50 años, obteniéndose como conclusión principal que es necesario seguir investigando en el marco de la meteorología aplicada a la aviación y de la tecnología aeronáutica con el objetivo de poder garantizar vuelos seguros y eficientes, sean cuales sean las condiciones meteorológicas presentes.

Cabe mencionar que esta idea de proyecto nació de la cabeza del profesor Jordi Mazón Bueso (departamento de Física Aplicada), quien me brindó la posibilidad de llevarla a cabo y me permitió indagar en un tema tan interesante e importante como la meteorología aplicada a la aviación, pudiendo llevarla a un caso práctico real como el del vuelo 447 de Air France, pudiendo esclarecer tras cuatro años del accidente las causas de la tragedia.

# CAPÍTULO 1. FENÓMENOS METEOROLÓGICOS QUE AFECTAN A LA AVIACIÓN

En este capítulo se realiza una descripción detallada de los fenómenos meteorológicos que afectan al mundo de la aviación, y se determinan cuáles son sus efectos sobre las aeronaves y sobre las instalaciones aeroportuarias.

## 1.1. Englamiento (ICE)

¿Cómo se produce el englamiento? Si a una masa de aire saturada se le añade vapor de agua, o se disminuye su temperatura por debajo del punto de rocío, el vapor de agua sobrante se condensa, generando gotas de agua líquida sobre núcleos de condensación<sup>1</sup> y cristales de hielo sobre núcleos glaciógenos<sup>2</sup>, originando nubes. La baja concentración de núcleos glaciógenos activos en el rango de temperaturas de 0°C a -20°C, hace posible que existan en las nubes áreas muy extensas de gotas de agua líquida subfundida, que al impactar con el fuselaje de las aeronaves que se encuentra a temperaturas inferiores a 0°C, se congelan. Este fenómeno también se produce en superficie en regiones árticas y antárticas, cuando la aeronave atraviesa áreas de niebla engelante (FZFG), es decir nieblas que tienen un alto contenido de gotas de agua en subfusión [5].

### 1.1.1. Factores ambientales influyentes en la formación del tipo de hielo

La formación de un tipo de hielo o de otro, depende de factores ambientales como el contenido de agua líquida en las nubes, la temperatura y el tamaño de las gotas subfundidas. El contenido de agua líquida en las nubes, disminuye con la altitud y varía en función del tipo de nubosidad (ver Tabla A1.2. del anexo 1, probabilidad e intensidad del englamiento bajo distintos tipos de nubes), para nubes estratiformes es inferior a 0,3 g/m<sup>3</sup>, mientras que en las cumuliformes el valor medio es de 0,6 g/m<sup>3</sup> con picos que oscilan hasta los 1,7 g/m<sup>3</sup>. El diámetro de las gotas subfundidas en suspensión es mayor en las nubes cumuliformes, teniendo como límite para cualquier tipo de nube los 40 µm. En caso de ser mayor y oscilar entre 40 µm y 200 µm, las gotas en subfusión no permanecen en suspensión y se precipitan en forma de llovizna helada (FZDZ) y si es superior como lluvia helada (FZRA). El englamiento suele ocurrir entre -2°C y -20°C teniendo como límite los -40°C [7], ya que a dicha temperatura las gotas en subfusión se congelan en ausencia de núcleos de congelación.

---

<sup>1</sup> Los núcleos de condensación son partículas higroscópicas, que provienen de sales marinas, polen, polvo terrestre y de la combustión producida en volcanes o en la actividad industrial. La concentración de núcleos de condensación oscila entre 100.000 y 5.000.000 por litro de nube.

<sup>2</sup> Los núcleos glaciógenos son partículas no higroscópicas como pequeños granizos, cristallitos de hielo y corpúsculos de cuarzo o sílice. La concentración de los núcleos glaciógenos comienza a ser notable a partir de -20°C, 1 por litro de nube, multiplicado por 10 por cada 4°C que disminuye la temperatura.

### 1.1.2. Tipos de engelamiento

Ahora que se han definido los parámetros que propician la formación de un tipo de hielo u otro, se presentan los tipos de hielo que afectan a las aeronaves.

#### 1.1.2.1. Hielo claro

Hielo casi transparente, cristalino, suave, que se acumula rápidamente y que presenta una fuerte adherencia a las superficies metálicas de la aeronave, causado por el impacto de gotas subfundidas de diámetro grande que se congelan tras escurrirse. Se genera entre 0°C y -12°C, en nubes cumuliformes con gran contenido de agua en subfusión o en áreas de lluvia helada [40].

#### 1.1.2.2. Hielo granulado

Hielo opaco, áspero, rugoso, granular y que presenta baja adherencia, su formación es más lenta que la del hielo claro, causado por el impacto de gotas subfundidas de diámetro pequeño que se congelan instantáneamente, atrapando aire en su interior. Se genera entre -15°C y -20°C, en nubes estratiformes o en áreas de lloviznas heladas [40].

#### 1.1.2.3. Escarcha

Deposición directa del vapor de agua en el fuselaje de las aeronaves en forma de agujas o plumas cristalinas. Suele presentarse en aeronaves estacionadas al aire libre en noches despejadas, debido al enfriamiento del suelo.

#### 1.1.2.4. Hielo mixto

Se trata de una mezcla de escarcha, hielo granulado y claro, de aspecto blancuzco y quebradizo, similar al hielo granular, pero con mayor adherencia. Se forma en entornos nubosos heterogéneos con fluctuaciones de temperatura y en el diámetro de las gotas en subfusión.

### 1.1.3. Efecto de la acumulación de hielo en las aeronaves



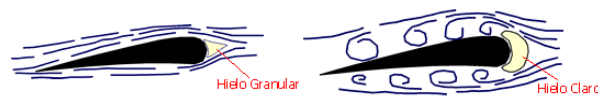
**Figura 1.1.** Zonas de la aeronave propensas a la formación de hielo [48]



En este apartado se describen los efectos del hielo sobre las aeronaves en las zonas marcadas en la *Figura 1.1*.

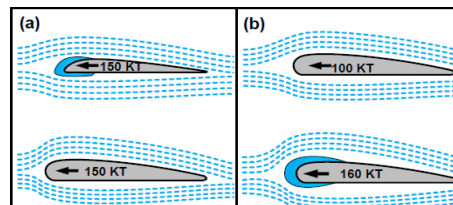
#### 1.1.3.1. Formación de hielo en los bordes de ataque del ala

La deformación del perfil alar en el borde de ataque por hielo granular adopta un perfil afilado, mientras que la del hielo claro una forma aplanada, siendo esta última la más peligrosa. La capa límite se vuelve más turbulenta a lo largo de la cuerda aerodinámica, produciéndose la separación del flujo laminar para un ángulo de ataque más pequeño, aumentando la velocidad de pérdida, el peso y la resistencia aerodinámica de la aeronave, y reduciéndose la sustentación máxima.



**Figura 1.2.** Perfiles alares contaminados por hielo granular y hielo claro [49]

La probabilidad de que las gotas subfundidas sean arrastradas o apartadas por la corriente de aire antes de impactar sobre el fuselaje, disminuye con la reducción del radio de borde de ataque (a), y con el aumento de la velocidad hasta los 250 kts (b), para velocidades superiores el calor liberado por la fricción con la atmosfera disminuye el riesgo de engelamiento.



**Figura 1.3.** Factores aerodinámicos implicados en la formación de hielo [8]

#### 1.1.3.2. Formación de hielo en los alerones

La formación de hielo en el borde delantero de los alerones puede producir un desprendimiento de la capa límite sobre los mismos, traduciéndose esto en la entrada en pérdida del extremo del ala y la pérdida de control sobre el alabeo de la aeronave. Los alerones tienden a acumular hielo más fácilmente que el resto del ala, debido a que poseen una sección transversal más delgada [41].

#### 1.1.3.3. Formación de hielo en el estabilizador horizontal

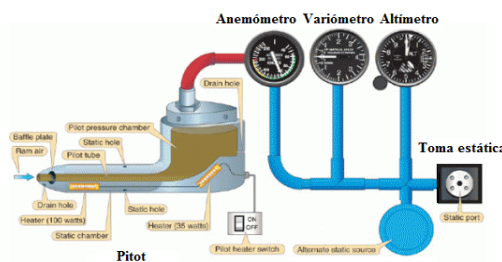
La formación de hielo en esta superficie como en el caso de los alerones es mucho más rápida que en las alas, debido a que su sección transversal

también es más afilada. Si el estabilizador horizontal entra en pérdida, la compensación de encabritado que ejerce normalmente desaparece, entrando la aeronave en un movimiento de picado [42].

#### 1.1.3.4. Formación de hielo en hélices

Su poder de propulsión disminuye y su balanceo se ve afectado por desprendimientos parciales de hielo sometidos a la fuerza centrífuga, debido al efecto de rotación, generando fuertes vibraciones [41].

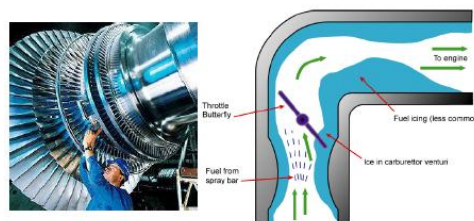
#### 1.1.3.5. Formación de hielo en el tubo PITOT y en la toma estática



**Figura 1.4.** Sistema pitot-estática [43]

La obstrucción de la entrada de aire en el tubo de PITOT o en las tomas de estática causada por el hielo falsea las lecturas del altímetro, del variómetro y del anemómetro en cabina, puesto que estas se calculan a partir de la presión dinámica y estática, obtenidas erróneamente. Estos tres datos resultan vitales para la navegación segura de la aeronave.

#### 1.1.3.6. Formación de hielo en la entrada del motor y en el carburador



**Figura 1.5.** Toma de aire de un motor y un carburador contaminado [44]

##### 1.1.3.6.1. Hielo en la boca del motor

Sucede a causa del impacto de gotas subfundidas con una temperatura que oscila entre los 0 y -10°C en la toma de aire del motor. Sus efectos suelen ser

los siguientes, el primero son las vibraciones en el fan con posibilidad de desprenderse un alabe, causando daños internos en el motor. Y el segundo es la alteración de la mezcla con la gasolina en el carburador, debido a la reducción del flujo de aire, reduciéndose así el empuje de la aeronave [44].

#### *1.1.3.6.2. Hielo en el carburador*

Este hielo no se forma por el impacto de gotas subfundidas, sino como consecuencia del proceso de evaporación del combustible. Este proceso absorbe calor de la corriente de aire de impacto, produciendo un descenso de su temperatura. Si la temperatura resultante oscila entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$ , las gotas de agua líquida que contiene, se congelan en la superficie interna del carburador, disminuyendo su diámetro interno o también pueden trabar la mariposa que regula el paso del aire, variando por lo tanto las condiciones de la mezcla. De este modo se reduce como en el caso anterior, el empuje del motor. Este tipo de engelamiento puede suceder hasta con temperaturas exteriores de  $+25^{\circ}\text{C}$  [41].

#### *1.1.3.7. Otras zonas de la aeronave propensas a la formación de hielo*

El tren de aterrizaje puede quedar bloqueado, complicando el aterrizaje. Las comunicaciones pueden cortarse por formación de hielo en la antena que actúa como puente con los aisladores de los extremos, formando masa con el fuselaje de la aeronave, o provocando la ruptura de esta [41].

## **1.2. Visibilidad (VIS)**

En aeronáutica, la visibilidad es un parámetro extremadamente importante durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje. Una baja visibilidad en el aeródromo puede provocar accidentes e incidentes, o en el mejor de los casos forzará el cierre de pistas, y con ello provocará desvíos y cancelaciones. La falta de visibilidad en sí, no es un fenómeno meteorológico, sino un efecto causado por la presencia de fenómenos meteorológicos como niebla (FG), neblina (BR), calima (HZ), llovizna (DZ), lluvia (RA) o nieve (SN).

El término “visibilidad aeronáutica” aparece en el anexo 3 de la International Civil Aviation Organization (ICAO) “*Servicio meteorológico para la navegación aérea internacional*”, y se define como el valor más elevado entre estos dos casos:

- a) la distancia máxima a la que pueda verse y reconocerse un objeto de color negro de dimensiones convenientes, situado cerca del suelo, al ser observado ante un fondo brillante;
- b) la distancia máxima a la que puedan verse e identificarse las luces de aproximadamente 1 000 candelas ante un fondo no iluminado.

### 1.2.1. Tipos de visibilidad

La ICAO ha desarrollado diversas formas de cuantificar la visibilidad para la planificación y el desarrollo seguro de las operaciones aéreas, la visibilidad horizontal, la visibilidad vertical y la visibilidad oblicua.

#### 1.2.1.1. Visibilidad horizontal

Existen 5 definiciones de la visibilidad horizontal basadas en distintos criterios, la visibilidad reinante, la visibilidad en vuelo, la visibilidad en tierra, el Runway Visibility Value (RVV) y la Runway Visual Range (RVR), siendo esta última la más importante y por lo tanto en la que me centraré.

##### 1.2.1.1.1. RVR

Se define como la distancia máxima a la que el piloto de una aeronave que se encuentra sobre el eje de una pista puede ver con claridad las señales de superficie, las luces que la delimitan o que señalan su eje, considerándose que la vista del piloto en la toma de contacto, queda a una altura media de 5 m.

##### 1.2.1.1.1.2. ¿Cómo se ven afectadas las operaciones aéreas por la RVR?

La RVR se debe incluir en el Meteorological Aerodrome Report (METAR) si es inferior a 1500 m, y se debe dar por incrementos de 25 a 60 m hasta los 800 m y de 100 m para una RVR superior. Una RVR superior a 800 m permite realizar aproximaciones visuales, mientras que si es inferior, se requiere hacer aproximaciones de precisión por instrumentos (IFR). Esto significa que si se quiere operar con baja visibilidad, es decir, bajo Instrumental Meteorological Conditions (IMC), tanto la aeronave como la tripulación deberán poseer un certificado adicional de IFR y el aeropuerto deberá disponer de un Instrumental Landing System (ILS) o un Microwave Landing System (MLS), que proporcione guiado vertical y lateral hasta el umbral de pista, de lo contrario las pistas del aeropuerto deberán cerrarse, interrumpiendo el tráfico aéreo [7].

El sistema más utilizado en los aeropuertos es el ILS, descrito en el Anexo 14 de la ICAO "Aeródromos", existen tres categorías, CAT I, CAT II, y CAT III, esta última subdividida en IIIA, IIB y IIIC, tal y como se muestra en la *Tabla A1.1.* del anexo 1. La restricción impuesta por la RVR y la altura de decisión (DH)<sup>3</sup> en las operaciones aéreas se reduce con el aumento de categoría, anulándose por completo con CAT IIIC, permitiendo operar con visibilidad nula.

En resumen para volar con una RVR inferior a 800 m, es necesario que tanto la aeronave como su tripulación tengan el certificado de IFR, y que el aeropuerto de destino disponga de las ayudas instrumentales requeridas.

---

<sup>3</sup> La altura de decisión es la altura en la que debe iniciarse la maniobra de aproximación frustrada, si no se ha establecido la referencia visual requerida para poder continuar con la aproximación y aterrizar.

### *1.2.1.2. Visibilidad vertical*

Distancia máxima a la que un observador puede ver e identificar un objeto sobre su misma vertical, hacia arriba o hacia abajo. Esta visibilidad bajo condiciones de niebla en el aeródromo siempre será superior a la oblicua.

### *1.2.1.3. Visibilidad oblicua*

Distancia máxima a la que un observador puede ver e identificar un objeto situado en distinta altitud y distinta vertical en las que él se encuentra. Con el cielo despejado la visibilidad oblicua es superior a la horizontal, puesto que la mayoría de las partículas de polvo y humo se concentran cerca del suelo. En condiciones en las que el espesor de la niebla alta disminuye de arriba hacia abajo en el aeródromo, la visibilidad oblicua resulta ser inferior a la horizontal.

## **1.2.2. Factores que afectan a la visibilidad horizontal**

La variación de la visibilidad horizontal depende de las características de la pista y de las condiciones meteorológicas presentes sobre el aeródromo.

### *1.2.2.1. Características del observable*

El color, el brillo y el tamaño son rasgos del observable que influyen en su detección. Los objetos de mayores dimensiones, más brillantes y de color claro suelen ser detectados a mayor distancia. Colores claros como el blanco, poseen un albedo elevado, traducándose esto en una baja absorción de la luz incidente y en una alta reflectividad. El color blanco con la distancia se torna amarillento, mientras que colores como el negro, púrpura [61].

### *1.2.2.2. Características de la pista*

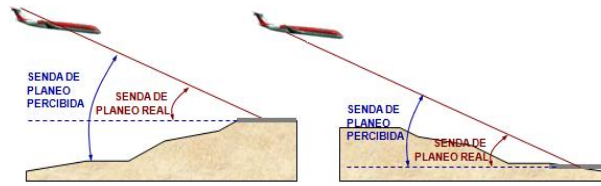
Las características mencionadas en el apartado anterior pueden modificar la percepción del piloto sobre el ambiente, creando ilusiones ópticas.

#### *1.2.2.2.1. Inclinação del terreno en las proximidades de la cabecera*

Si el terreno es ascendente el piloto percibe un mayor ángulo de descenso, y el aterrizaje que se suele realizar es corto. En cambio si es descendente, el ángulo de descenso percibido es menor, y tiene como resultado un aterrizaje largo. Al hablar de un aterrizaje corto o largo, me refiero a la distancia del touchdown<sup>4</sup> a la cabecera de pista. Una primera toma de contacto en pista muy alejada de la cabecera, podría dejar al piloto sin pista suficiente para el frenado de la aeronave.

---

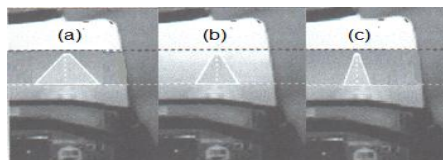
<sup>4</sup>Durante la fase de aterrizaje, el “touchdown” es el primer punto de contacto del tren de aterrizaje con el pavimento de la pista.



**Figura 1.6.** Ilusión óptica a causa de la inclinación del terreno en las proximidades de la cabecera [50]

#### 1.2.2.2.2. Ancho de la pista

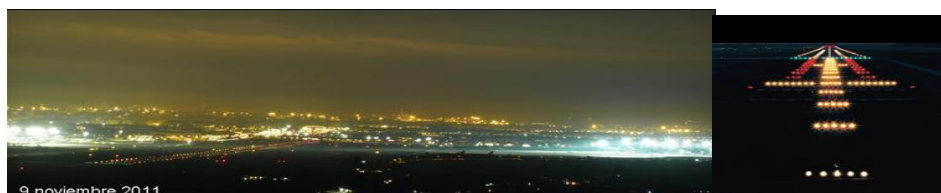
Una pista más angosta de lo usual, puede crear la ilusión de que la aeronave se encuentra a más altura de la que está en realidad, corriendo el riesgo de que golpee obstáculos durante la aproximación o realice un aterrizaje corto. La sensación generada en el piloto se puede ver claramente en la *Figura 1.7.*, especialmente en los paneles (a) y (c). Este fenómeno visual invierte sus efectos con pistas inusualmente anchas, provocando aterrizajes largos.



**Figura 1.7.** Ilusión óptica causada por el ancho de la pista. Los tres paneles muestran la visión de un piloto desde una aeronave a 200 kts en una senda de aproximación de  $3^\circ$  y a la misma altitud [50]

#### 1.2.2.2.3. Balizaje de la pista

Las luces de alta intensidad de la pista pasan prácticamente desapercibidas por la contaminación lumínica causada por las zonas habitadas, provocando la desorientación del piloto con dificultades para encontrarla. Durante la fase de aproximación el piloto percibe una altitud mayor que la real respecto a la pista, realizando un aterrizaje largo (*Fig. 1.8.* a la izquierda). En cambio si la noche es oscura y la pista está fuertemente iluminada, el piloto percibe estar más cerca de la pista de lo real y realiza un aterrizaje corto (*Fig. 1.8.*, a la derecha).



**Figura 1.8.** Pista de aterrizaje poco visible por contaminación lumínica [47] (a la izquierda), pista fuertemente iluminada en una noche oscura [46] (a la derecha)

### 1.2.2.3. Condiciones meteorológicas que reducen la visibilidad y a la vez las performances aerodinámicas de la aeronave

En este apartado se describe como se reduce la visibilidad horizontal en presencia de un fenómeno meteorológico determinado.

#### 1.2.2.3.1. Posición del sol

Si el observador mira hacia la posición del sol su visibilidad se reduce [7].

#### 1.2.2.3.2. Viento

La visibilidad contra el viento aumenta, puesto que arrastra las partículas de humo y polvo impidiendo su estacionamiento. Muy raramente se producen reducciones en la visibilidad importantes por humo o polvo aunque si sucede, no suele bajar de los 4 km, a este fenómeno se le denomina calima.

#### 1.2.2.3.3. Lluvia (RA)

Al comparar una lluvia de intensidad moderada con una llovizna también moderada de la *Tabla 1.1.*, el resultado es que la llovizna reduce más la visibilidad, pese a que el diámetro de las gotas de esta última es mucho inferior (40 – 200  $\mu\text{m}$ ). Esto se debe a que aparte de las gotitas precipitantes hay muchas otras de ínfimo tamaño que permanecen en suspensión, formando nieblas o neblinas que enturbian el ambiente. Es importante decir que la visibilidad mínima causada por lluvia puede alcanzar los 50 m, es decir un valor 10 veces más pequeño que el causado por la llovizna. La visibilidad nocturna para ambos fenómenos comparando las mismas intensidades de precipitación entre el día y noche, suele ser mayor, excepto en el caso de la lluvia para intensidades ligeras y muy ligeras.

**Tabla 1.1.** Reducción de visibilidad vs. Intensidad de las lluvias y lloviznas [54]

| Visibilidad bajo lluvias en km   |                 |            |         |          |           |            |
|----------------------------------|-----------------|------------|---------|----------|-----------|------------|
| Iluminación                      | Tropical fuerte | Muy Fuerte | Fuerte  | Moderada | Ligera    | Muy Ligera |
| Noche                            | 1,1-0,2         | 2,0-1,1    | 5,7-2,0 | 11,4-5,7 | 17,5-11,4 | 30,0–17,5  |
| Día                              | 0,5– 0,05       | 1,0-0,5    | 4,0-1,0 | 10,0–4,0 | 20,0-10,0 | 50,0– 20,0 |
| Visibilidad bajo lloviznas en km |                 |            |         |          |           |            |
| Iluminación                      | Tropical fuerte | Muy fuerte | Fuerte  | Moderada | Ligera    | Muy Ligera |
| Noche                            | N/D             | N/D        | 2,0-1,1 | 3,4-2,0  | 5,7-3,4   | N/D        |
| Día                              | N/D             | N/D        | 1,0-0,5 | 2,0–1,0  | 4,0–2,0   | N/D        |

Las gotitas de agua se pueden ir acumulando en el parabrisas de la aeronave, y al ser atravesadas por los rayos de luz pueden experimentar refracción, produciendo la desorientación del piloto respecto a la altitud y la dirección real. Este fenómeno ha llegado a provocar que los aterrizajes sean de 1000 a 1600 metros más cortos o largos de lo normal [9].

Otro aspecto a tener en cuenta en tierra, es que la huella de la aeronave puede quedar enmascarada en el radar del aeropuerto como consecuencia de los ecos producidos por lluvias de alta intensidad, cegando la pantalla de los controladores.

#### 1.2.2.3.3.1. ¿Cómo afecta la lluvia a las performances de la aeronave?

La reducción de visibilidad por lluvia suele aparecer acompañada de incidentes como:

- a) Las ruedas del tren de aterrizaje al tomar contacto con el pavimento arrojando agua violentamente sobre los flaps y dañándolos.
- b) La pista contaminada por lluvia inutiliza los frenos de la aeronave, y obliga al piloto a usar únicamente las hélices reversibles.
- c) La ingestión de lluvia por las turbinas de los reactores disminuye ligeramente el empuje de la aeronave.

#### 1.2.2.3.4. Nieve (SN)

La reducción de visibilidad sufrida volando con nevadas o tormentas de nieve depende de la intensidad del hidrometeoro, de la temperatura ambiente, y de la iluminación del entorno. De la *Tabla 1.2.* se deduce que la visibilidad durante la noche es superior en todos los casos, debido al fuerte contraste entre el color blanco con la oscuridad. Otra observación es que la visibilidad en estas condiciones aumenta con la temperatura, puesto que la nieve se disuelve más rápidamente.

**Tabla 1.2.** Reducción de la visibilidad vs. Intensidad de las nevadas [55]

| Iluminación | Temperatura | Visibilidad bajo nevadas en km |           |           |            |
|-------------|-------------|--------------------------------|-----------|-----------|------------|
|             | °C          | Fuerte                         | Moderada  | Ligera    | Muy Ligera |
| Noche       | > -1        | = 1,6                          | 4,0 - 1,6 | 6,4 - 4,0 | >6,4       |
|             | < -1        | = 1,2                          | 2,4 - 1,2 | 4,8 - 2,4 | >4,8       |
| Día         | > -1        | = 0,8                          | 2,4 - 0,8 | 4,8 - 2,4 | >4,8       |
|             | < -1        | = 0,6                          | 1,4 - 0,6 | 3,2 - 1,4 | >3,2       |

La visibilidad puede llegar a ser nula con la aparición de fenómenos como el alborismo polar (whiteout), típico de zonas del Ártico y del Antártico. El whiteout



es un fenómeno óptico atmosférico en condiciones de luz diurna, en el que el piloto parece estar envuelto en un resplandor de color blanco uniforme, como resultado de la falta de contraste entre un cielo nublado, es decir “overcast” (OVC) y una nieve intacta. Por intacta, se entiende que no presenta irregularidades en su superficie que puedan servir de apoyo visual. El piloto volando bajo VFR<sup>5</sup> pierde el sentido de profundidad y orientación sin poder discernir las sombras, el horizonte y la nubosidad, al primer signo deberá virar 180° en busca de mejores condiciones de vuelo [9] y [7].

La nieve húmeda sobre superficies de la aeronave con una temperatura inferior a los 0°C, puede producir engelamiento reduciendo sus performances aerodinámicas y la visibilidad en el parabrisas, a diferencia de la nieve seca que presenta una baja adherencia.

La nieve no solamente puede afectar a la aeronave, sino que también a las instalaciones en tierra, contaminando con más de 3 mm de espesor la superficie de los pavimentos, pudiendo disminuir el contraste entre la pista de aterrizaje y el entorno, quedando oculta para el piloto que vuela en VFR (ver *Figura A1.1.* del anexo 1).

#### 1.2.2.3.4.1. ¿Cómo afecta la nieve a las performances de la aeronave?

La reducción de visibilidad por nieve suele aparecer acompañada de incidentes como:

- a) Las ruedas del tren de aterrizaje al tomar contacto con el pavimento arrojan nieve blanda sobre los flaps dañándolos, si la nieve es compacta la violencia del impacto sobre los flaps es mayor.
- b) Durante el aterrizaje si la pista está contaminada por nieve blanda, los frenos quedan bloqueados al entrar agua en el tambor, obligando al piloto a frenar aerodinámicamente, mientras que si la nieve es compacta los frenos no sufren anomalías en su funcionamiento, debido a que el contenido de agua de la nieve compacta es inferior.
- c) Si la nieve blanda tiene un espesor apreciable sobre la pista durante la carrera de despegue, el avance de la aeronave encuentra mayor resistencia, y la carrera de despegue es más larga, mientras que si se trata de nieve compacta es más resbaladiza y no afecta a la carrera de despegue.

---

<sup>5</sup> Los vuelos en IFR no son inmunes al whiteout, se han dado casos en los que el aeropuerto de destino no estaba equipado con ILS, obligando a las aeronaves a retirarse al aeropuerto alternativo, es decir no causan únicamente incidencias o accidentes operando en VFR. Las aeronaves no tienen un único piloto por este motivo, mientras uno mira las ayudas instrumentales, el otro busca el contacto visual con pista. [9]

### 1.2.2.3.5. Tempestad de arena o polvo (SA o DS)

**Tabla 1.3.** Reducción de la visibilidad vs. Intensidad de las DS [56]

|                             | DS muy ligera | DS Ligera    | DS moderada | DS fuerte   | DS muy fuerte |
|-----------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|---------------|
| Visibilidad en m            | VIS > 10000   | 1000 - 10000 | 500 – 1000  | 50 - 500    | VIS < 50      |
| Velocidad del viento en m/s | N/D           | N/D          | 10,8 – 20,7 | 17,2 – 24,4 | 20,8 – 24,4   |

La visibilidad puede quedar totalmente reducida, debido a la combinación del viento racheado y turbulento con polvo y arena. Se trata de un fenómeno típico de regiones desérticas. El polvo por definición está compuesto por partículas con un diámetro inferior a 0,08 mm, favoreciendo que pueda permanecer durante días en suspensión, en ausencia de vientos de carácter importante. Cuando el viento excede la velocidad de 15 kts, comienzan a formarse remolinos de polvo y arena, si la velocidad del viento se incrementa o persiste, las partículas pesadas se precipitan sobre la pista de aterrizaje y enmascaran su señalización. Las partículas más ligeras pueden ascender hasta los 3000 ft en atmosfera estable o hasta 15000 ft en el caso de inestabilidad atmosférica, formando nubes que reducen extremadamente la visibilidad en las fases de crucero y de aproximación. También es importante decir, que la lluvia generada por estas nubes es barro. La reducción de la visibilidad causada por este tipo de lluvia es superior a la de la lluvia convencional, debido a su opacidad.

Suelen ser fenómenos de carácter local que se forman en Egipto, Irán e Irak, en el Cercano Oriente, en Estados Unidos en el Lejano Oeste, en Méjico, en el desierto de Gobi en China y en los desiertos australianos, el Arenoso, el Gibson y el Victoria, y especialmente en Sudán [7], (ver *Figura A1.2.*)..

Como dato curioso decir, que este fenómeno no afecta únicamente a la visibilidad, puesto que el polvo y la arena al igual que las cenizas volcánicas abrasivas, pueden introducirse en los motores y las turbinas, causando serios daños. Teniendo en cuenta que en una erupción volcánica convencional suelen liberarse 500 millones de toneladas de polvo a la atmosfera, y que desde 1980 ha habido alrededor de unas 100 erupciones volcánicas a nivel mundial, se puede decir que se trata de un fenómeno que ocurre con una frecuencia relativamente alta [9].

### 1.2.2.3.6. La niebla la reina de los fenómenos meteorológicos en cuanto a la reducción de la visibilidad

¿Qué es la niebla?

La niebla es una nube estratiforme muy baja, a nivel del suelo, de espesor y densidad variable, presenta un color blanquecino o gris claro y dificulta la

visión, cuando es densa, incluso a corta distancia. Físicamente no hay ninguna diferencia entre niebla o nube, la diferencia radica en el método y el lugar de su formación. Mientras que las nubes lo hacen por elevación y enfriamiento del aire hasta alcanzar el nivel de condensación, la niebla se forma a nivel del suelo por aumento del contenido de vapor de agua en el aire, o por el enfriamiento del aire hasta llegar a la saturación.

**Tabla 1.4.** Reducción de visibilidad en el interior de las nieblas y neblinas [54]

| Iluminación | Visibilidad bajo niebla, neblina y bruma en km |               |                |                 |         |                       |
|-------------|--|---------------|----------------|-----------------|---------|-----------------------|
|             | Niebla muy espesa                              | Niebla espesa | Niebla regular | Niebla moderada | Neblina | Neblina débil o bruma |
| Noche       | < 0,2  | 0,5-0,2       | 1,1-0,5        | 2,0-1,1         | 3,4-2,0 | 11,4-3,4              |
| Día         | < 0,05   | 0,2-0,05      | 0,5-0,2        | 1,0-0,5         | 2,0-1,0 | 10,0-2,0              |

### 1.3. Turbulencias

El flujo de aire puede ser laminar o turbulento. En el primer caso las partículas mantienen un recorrido ordenado y rectilíneo, mientras que en el segundo caso, las partículas se mueven desordenadamente y sus trayectorias forman pequeños círculos aperiódicos, es decir remolinos. En rigor, el flujo totalmente laminar no existe, se trata de un comportamiento ideal, el aire siempre es turbulento, incluso en entornos de gran estabilidad atmosférica [58].

#### 1.3.1. Tipos de turbulencias

##### 1.3.1.1. Turbulencia mecánica

Es el resultado del rozamiento del aire con la superficie u obstáculos (ej. terminales, torre de control, aeronaves aparcadas) y afecta a una capa de unos 1000 m de espesor, afectando por lo tanto únicamente a las aeronaves durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje. La viscosidad del fluido produce que la velocidad del flujo laminar en las capas más cercanas a la superficie de los obstáculos se reduzca, y acaba provocando la ruptura del régimen laminar.

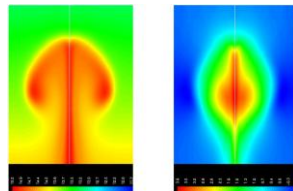
La intensidad de la turbulencia aumenta con la velocidad del aire, con la forma abrupta del obstáculo y con la reducción de la temperatura del aire tal y como se muestra en la ley de Sutherland.

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} * \left(\frac{T_0+100}{T+100}\right) \quad [39] \quad (1.1.)$$

En la ley de Sutherland, se muestra el comportamiento de la viscosidad dinámica frente a la temperatura, donde  $\mu$  es el coeficiente de viscosidad,  $T$  la temperatura en kelvin y  $\mu_0$  es el coeficiente de viscosidad de referencia ( $\mu_0 = 1,7894 * \frac{10^{-5} kg}{m*s}$ ) para la temperatura de referencia  $T_0 = 288,16 K$  [39].

#### 1.3.1.2. Turbulencia térmica o convectiva

Las térmicas son burbujas de aire que ascienden verticalmente desde las bajas capas de la troposfera, debido a su baja densidad. Según la ecuación de estado,  $P * V = R * T$ , si se calienta una masa de aire y se mantiene su presión constante, esta aumenta su volumen y disminuye su densidad de tal forma que experimenta una fuerza ascensional, el aire converge en superficie y diverge cerca de la tropopausa.



**Figura 1.9.** Temperatura interior de una térmica (a la izquierda) y velocidad vertical de ascenso de la térmica (a la derecha)<sup>6</sup> [39]

En el centro de la térmica se observan velocidades de ascenso positivas (máx. 35 m/s), mientras que en el exterior de la térmica el flujo de aire frío tiene velocidades verticales negativas (máx. -15 m/s). La térmica provoca que la aeronave ascienda y descienda involuntariamente. La altura que alcanzan las térmicas depende de la temperatura inicial de la térmica y del perfil de temperatura de la atmósfera. Estas masas de aire, pueden condensarse durante su ascenso y formar nubes de desarrollo vertical como cúmulos y cumulonimbos, la intensidad máxima de este tipo de turbulencias se alcanza en el inicio de la fase de madurez, y en el tercio central del CB (ver *Tabla A1.3.* del anexo 1).

#### 1.3.1.3. Turbulencia de aire claro (CAT)

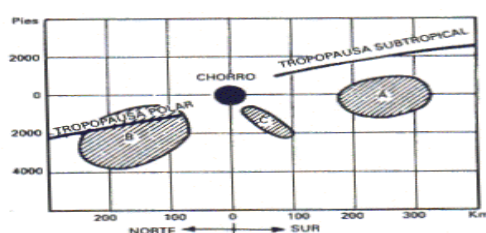
La CAT aparece con mayor frecuencia en invierno, representando un peligro en la fase de crucero, pudiendo hacer que la aeronave se desplome 1000 m hasta que el piloto recupere el control. Aparece en los niveles próximos a la tropopausa en aire claro, es decir entre los 7000 y 12000 m de altitud, siendo indetectable para el radar meteorológico y para la tripulación también, debido a que carece de indicadores visuales asociados, aunque en el 50% de los casos están presentes cirrus con bordes deshilachados. Tiene un espesor de 600 m y

<sup>6</sup> Para la simulación de la térmica se calentó una región 5 °C más que el resto y se utilizó un perfil de atmósfera inestable con un gradiente de temperatura de -0,007 °C/m.

una extensión horizontal de 10 a 100 km con una duración que oscila entre minutos y horas [7].

¿Se puede intuir en que zonas estarán presentes las CAT?

La respuesta es sí. Según estudios experimentales realizados por Colson en Estados Unidos, el 64% de ellas, suelen estar vinculadas a la corriente en chorro. Un 36 % está asociado dentro del rango de 150 millas a la izquierda del chorro desde los 4000 ft por encima de la tropopausa hasta los 7000 ft por debajo. El restante 28 % se encuentra dentro de las 150 millas a la derecha del chorro a más de 1000 ft por debajo de la tropopausa, debido a que la estratosfera sobre la tropopausa subtropical es muy estable.



**Figura 1.10.** Sección transversal de la corriente en chorro y CAT asociada [58]

La intensidad de la CAT es normalmente mayor en lado izquierdo de la corriente en chorro, puesto que la cizalladura horizontal es mayor que a la derecha. La cizalladura del viento puede ser vertical u horizontal, y puede indicar al piloto la presencia de CAT. En el frente del chorro se alcanzan los valores máximos de cizalladura y las mayores variaciones de temperatura por milla náutica. La CAT empieza con una cizalladura horizontal que presenta una variación superior 20 kts por cada 60 millas náuticas acompañada de una cizalladura vertical de 4 kts, el equivalente a una variación de 5 grados de temperatura por cada 120 millas náuticas de distancia horizontal, hecho que permite al piloto detectar la posible CAT, únicamente mirando el termómetro.

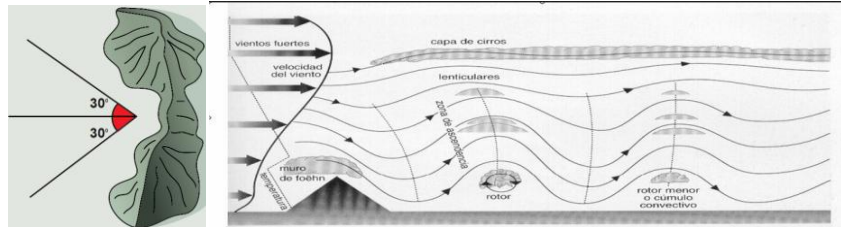
#### 1.3.1.4. La onda de montaña y la onda de gravedad

Es un fenómeno meteorológico resultante de la incidencia de un flujo de aire sobre una barrera topográfica, que acaba adoptando un comportamiento ondulatorio a sotavento del obstáculo, produciéndose ascensos y descensos del aire. Las ondas de gravedad, a diferencia de la onda de montaña, se genera por la divergencia del aire en la tropopausa.

##### 1.3.1.4.1. Requisitos necesarios para la formación de la onda de montaña

La dirección del viento debe ser perpendicular o desviarse menos de 30° del eje de la cadena montañosa, y su velocidad superior a los 15 nudos en la cima.

En la zona de barlovento, la velocidad del viento ha de aumentar con la altura, manteniendo una dirección prácticamente igual para cada nivel de vuelo. El último requisito es la presencia de una inversión térmica que mantenga confinada la onda de montaña en las regiones bajas de la atmósfera [63].



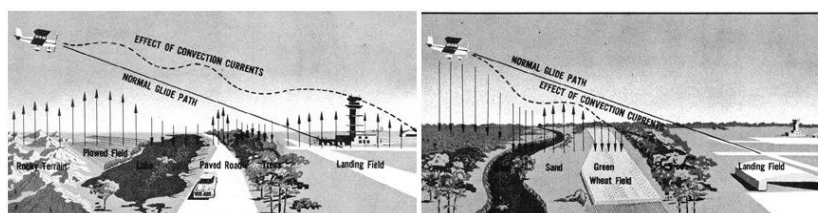
**Figura 1.11.** Onda de montaña, vista aérea a la izquierda [8], a la derecha [59]

### 1.3.2. Efectos de las turbulencias sobre las aeronaves

Cuanto mayor es la velocidad de la aeronave, mayor es el número de remolinos que encuentra por unidad de tiempo, entrando y saliendo de ascensiones y descendencias continuamente, que producen un aumento de los esfuerzos por unidad de área en la estructura de la aeronave.

Los remolinos de pequeño diámetro, ocasionan rachas que sacuden y zarandean la aeronave, mientras que los de gran tamaño, provocan amplias ascensiones y descendencias, que pueden provocar que la aeronave caiga un par de miles de pies durante la fase de crucero. También puede haber resonancia en el caso de que la frecuencia de los remolinos se ajuste a la vibración natural de la estructura de la aeronave, conduciendo a su ruptura. La resonancia suele presentarse en las turbulencias de aire claro y las ondas gravitatorias, puesto que a menor altitud los remolinos son más irregulares [7].

En baja cota, durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje las térmicas y las turbulencias mecánicas representan una amenaza. El aumento o la reducción del ángulo de ataque ocasionado por una ascensión o descendencia involuntaria, puede acabar con la entrada en pérdida de la aeronave. En la *Figura 1.12*, se observan las dos posibles consecuencias de volar bajo térmicas, a la izquierda el piloto acabará realizando un aterrizaje largo, mientras que en la derecha será corto, con el riesgo de colisionar en las proximidades de la cabecera de pista.



**Figura 1.12.** Influencia de una térmica sobre la aeronave en el descenso [53]

## CAPÍTULO 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO A NIVEL MUNDIAL DE ACCIDENTES AÉREOS, 1967 - 2010

Tras haber presentado en el *Capítulo 1*, los principales fenómenos meteorológicos que afectan a la aviación, en este segundo capítulo, se realiza un análisis estadístico a nivel mundial del impacto de dichos fenómenos en el número de accidentes aéreos entre 1967 y 2010. Algo que es importante remarcar de este análisis, es que es único, puesto que no se han encontrado artículos académicos que contengan un estudio similar a nivel mundial que abarquen un período tan extenso. La mayoría de los estudios encontrados, se limitaban a estudiar una década a nivel estatal y como mucho se han encontrado datos por continentes en algunos organismos oficiales, o por fabricantes de aeronaves, tales como el [16], [17], [18], [19] y [20].

### 2.1. Conceptos previos a tener en cuenta antes del análisis

Desde el 11 de abril de 1951, el Anexo 13 de la ICAO “Investigación de accidentes e incidentes de aviación” regula la notificación de accidentes e incidentes, la institución, organización y realización de la investigación, la participación en la misma, la presentación y la difusión de sus resultados. La importancia de los reportes de accidentes aéreos realizados por organismos tanto internacionales como nacionales radica en la prevención de futuros accidentes. Pese a esta normativa los datos proporcionados por diversas fuentes, organismos oficiales en algunas ocasiones no coinciden entre si, en el número de accidentes aéreos y fallecidos en un período, o incluso en sus causas. Por esta razón, se quiere afirmar que los datos que se presentan en este análisis no son estrictamente fieles a la realidad, pero si son una aproximación bastante útil para determinar el porcentaje de accidentes aéreos en los que ha contribuido o aparece como causa principal la meteorología.

Se ha optado por elegir la información de las bases de datos de los siguientes organismos oficiales, ICAO (International Civil Aviation Organization), FAA (Federal Aviation Administration), NTSB (National Transportation Safety Board), CAA (Civil Aviation Authority), Transport Canada, y se han consultado las páginas web de Aviation Safety Network, Airsafe, Airdisaster, CRSTG (Cabin Safety Research Technical Group) y ACRO (Aircraft Crashes Record Office). Tanto las aeronaves de ala giratoria como las aeronaves con pesos inferiores a los 2250 kg quedan excluidas de las estadísticas de los organismos oficiales, motivo por el que no han sido incluidas en este análisis. También quedan excluidas del análisis aeronaves con menos de 19 asientos, y cuyos informes oficiales no hayan sido emitidos todavía. Esto implica que las cifras de accidentes aéreos por año podrían ser superiores a la expuestas en este análisis, especialmente las de la última década.

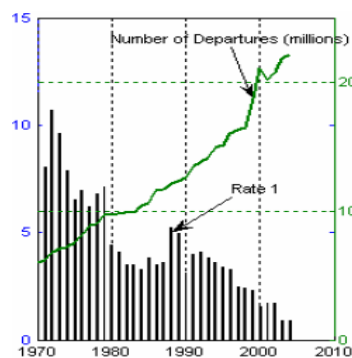
Los accidentes aéreos utilizados para realizar las estadísticas cumplen con la definición de accidente aéreo de la ICAO [38], es decir una ocurrencia asociada con la operación de una aeronave que tiene lugar durante el tiempo que





Analizando el comportamiento de los accidentes aéreos en general durante este período de la *Figura 2.1.*, se observa que los años 1981, 1984 y 1999 se pueden considerar los más seguros en el mundo de la aviación con 40, 38 y 39 accidentes aéreos respectivamente hasta el año 2010. El 2010 se ha convertido en otro de los mejores años con 40 accidentes aéreos, tras haber pasado una mala época entre el 2000 y el 2006, en los que la media de accidentes aéreos creció un 30,1% respecto a la media de la década de 1990. Esto pudo deberse a la entrada del nuevo milenio con el efecto 2000 [32], y el crecimiento exponencial del tráfico aéreo [18].

El drástico crecimiento del tráfico aéreo se puede observar en la *Figura 2.2.*, entre 1990 y 1997 aumentó en 4 millones de operaciones anuales, creciendo de nuevo entre 1997 y el 2000 en otros 4 millones, es decir el crecimiento fue el mismo, pero en lugar de producirse a largo de 7 años se produjo en 3 años, saturando los servicios de control de tráfico aéreo. En esta figura también se puede apreciar cómo se redujeron el número de operaciones aéreas anuales por miedo a volar tras los atentados del 11 de Septiembre de 2001 [31], de 21 millones a 20 millones, hecho que se refleja también en la reducción de accidentes aéreos en el 2002 de 102 a 55.



**Figura 2.2.** Ratio accidentes aéreos por número de operaciones anuales [18]

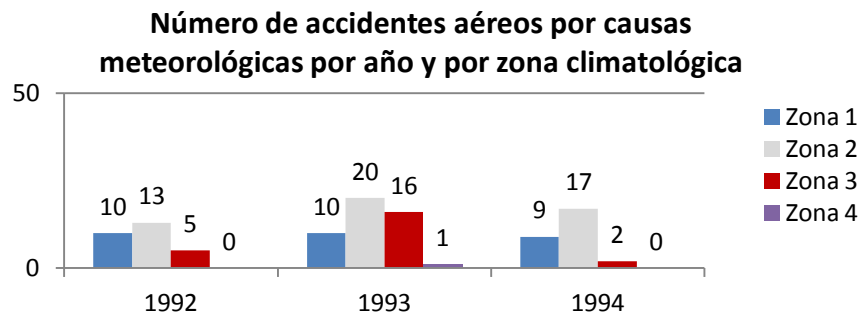
Continuando con este análisis, se determina que los peores registros se obtuvieron en 2001, 2003 y 2005, con 102, 90 y 129 accidentes aéreos respectivamente. Para obtener un indicador de seguridad en los vuelos, no es suficiente con comparar el número de accidentes aéreos anuales en un período, es necesario compararlo con el número de operaciones anuales. Comparando estos datos con el número de accidentes aéreos anuales se obtiene que la tasa de accidentes por millón de despegues se ha reducido de 12 en 1972 a 2 accidentes en 2004, hecho que denota una notable mejora en la seguridad aérea.

Al analizar los accidentes por causas meteorológicas, se observa que se ajustan al patrón de comportamiento descrito para los accidentes en general, oscilando durante todo el período entre 4 y 47 accidentes aéreos anuales con una media de 25,6 accidentes por año. Se mantienen constantes entre 1967 y 1985 con 20 accidentes aéreos de media, y experimentan un ligero crecimiento a partir de 1986. El peor registro se obtuvo en 1993 con 47 accidentes aéreos,

representando el 60,25% de los accidentes que se produjeron durante este año, 13 causados por turbulencia, 11 por lluvia, 7 por baja visibilidad causada por partículas de polvo o contaminantes, 6 por niebla, 4 por tormenta, 4 por nieve y 2 por CAT. En el *apartado 2.2.1.*, se formula una hipótesis que intentará justificar el registro obtenido en 1993. El aumento drástico obtenido en general en la década del 2000, se traduce lógicamente también en un incremento de los accidentes aéreos por causas meteorológicas adversas, con una media de 31 accidentes aéreos durante la década, es decir la media de accidentes por causas meteorológicas entre 1960 y 1985 se incrementa en un 55% y en un 6,8% respecto a la media entre 1986 y 1999. De las ecuaciones obtenidas aplicando líneas de tendencia a ambos gráficos, se deduce que el crecimiento del número de accidentes aéreos por causa meteorológica por década es superior al crecimiento de accidentes causados por otros factores, siendo de 2,7 frente a 1,9. Indicativo de cara al presente y al futuro, de la necesidad de conocer adecuadamente el medio en el que operan las aeronaves.

### 2.2.1. ¿Por qué aumentó en 1993 repentinamente el número de accidentes aéreos causados por fenómenos meteorológicos?

Para poder responder esta pregunta, los 203 accidentes aéreos ocurridos durante 1992, 1993 y 1994, han sido asociados en función del lugar en el que se produjeron a una de las 4 zonas climáticas que dividen la Tierra, con la intención observar si alguna de ellas experimentó un crecimiento anómalo de accidentes aéreos respecto al año anterior y al posterior. Localizándose de este modo, la zona climática del planeta en la que actuaron el o los fenómenos meteorológicos responsables de este crecimiento.



**Figura 2.3.** Gráfico comparativo entre 1992, 1993 y 1994 del número de accidentes aéreos por causas meteorológicas distribuidos por zonas climáticas (ver *Tabla A2.9.* del anexo 2)

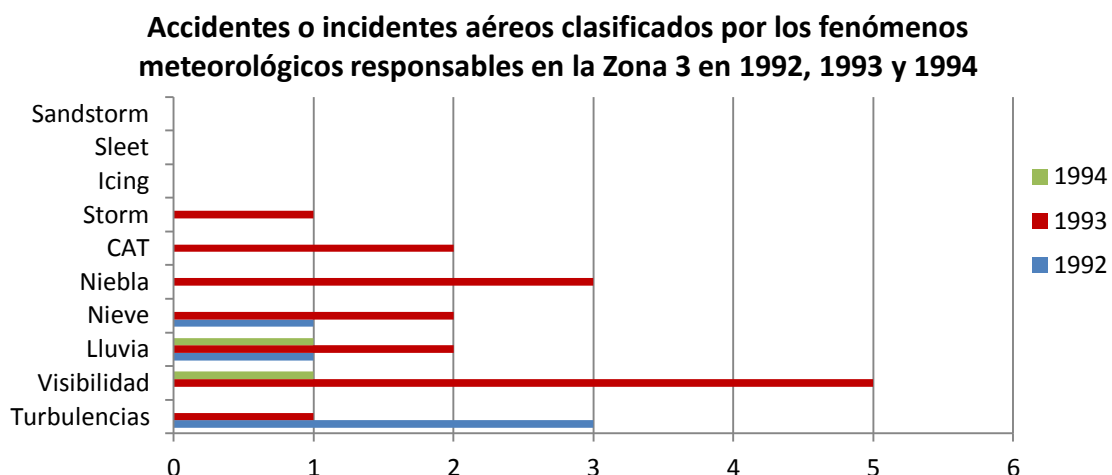
En la *Figura 2.3.*, la zona 1 representa la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) entre las latitudes de  $-20^{\circ}$  a  $20^{\circ}$ . Las latitudes que se dan a continuación para confinar las zonas climáticas son válidas para ambos hemisferios. La zona 2 representa las zonas subtropicales entre  $20^{\circ}$  y  $40^{\circ}$ , la zona 3 las zonas templadas entre  $40^{\circ}$  y  $60^{\circ}$ , y la zona 4, la zonas polares entre  $60^{\circ}$  y  $90^{\circ}$ .

Tras examinar la *Figura 2.3.*, se determina que la zona 3 del año 1993 con 16 accidentes aéreos, presenta un crecimiento anómalo respecto a los datos de

los otros dos años. Adicionalmente se observa, aunque no parezca importante, un incidente en la zona 4, cuando en el año anterior y posterior, no ha habido ninguno presente. Motivo por el que se concluye, que los fenómenos meteorológicos responsables del incremento de accidentes aéreos en 1993, actuaron entre las zonas polares y las templadas, es decir en las latitudes altas.

#### 2.2.1.1. Explicación del crecimiento anómalo de accidentes aéreos por causas meteorológicas en la zona 3, 1993

En este subapartado, primeramente se determina qué fenómenos meteorológicos fueron los responsables de los 16 accidentes aéreos. En la *Figura 2.4.*, se puede intuir un cambio en el clima de la zona 3, por la aparición de incidentes por CAT, niebla y tormentas, hecho que no ocurrió ni en el año anterior, ni en el posterior. Otro aspecto a tener en cuenta, es que el número de accidentes por nieve, por lluvia y por visibilidad se incrementó, a diferencia de los de turbulencias que se redujeron.



**Figura 2.4.** Distribución de los fenómenos meteorológicos por zona climática y por año. (ver *Tabla A2.9.* del anexo 2, en la *Tabla A2.11.* se proporciona adicionalmente la distribución de accidentes aéreos por zona climática y fenómeno meteorológico a lo largo de todo el periodo)

El cambio climático observado en la zona 3 de 1993, se puede justificar mediante la erupción del 15 de junio de 1991 del Monte Pinatubo (15,1 °N, 120,4 °E). El volcán inyectó unos 20 millones de toneladas de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en la estratosfera [22], que al reaccionar con el vapor de agua y radicales OH durante los siguientes 22 días, generaron aerosoles de sulfato. Posteriormente las circulaciones del aire terrestre se encargaron de cubrir todo el globo terráqueo.

Como consecuencia de ello, el albedo planetario de la Tierra aumentó durante los siguientes dos años, produciéndose un enfriamiento medio global en los bajos niveles de la troposfera de 0,5°C [22]. Modificándose la estructura de las nubes cumuliformes y cirriformes por la mayor concentración de aerosoles, que

disminuyó la presencia de agua en subfusión en ellas, y aumentó la concentración de cristales de hielo, alcanzando su máximo en las zonas tropicales con un incremento del 50% en los cirrus, tal y como se demuestra en [21]. Motivo por el que probablemente, se redujeron los incidentes causados por engelamiento.

El aumento de absorción de radiación infrarroja termal y ultravioleta cercana propiciada por las partículas de aerosol, generó un calentamiento inesperado en los bajos niveles de la estratosfera y a su vez, aumentó la velocidad de destrucción del ozono en las latitudes más altas. En 1993 se produjeron durante la primavera austral descensos en la columna de ozono hasta los 200 UD, cuando el promedio en aquella época era superior a los 300 UD [23].

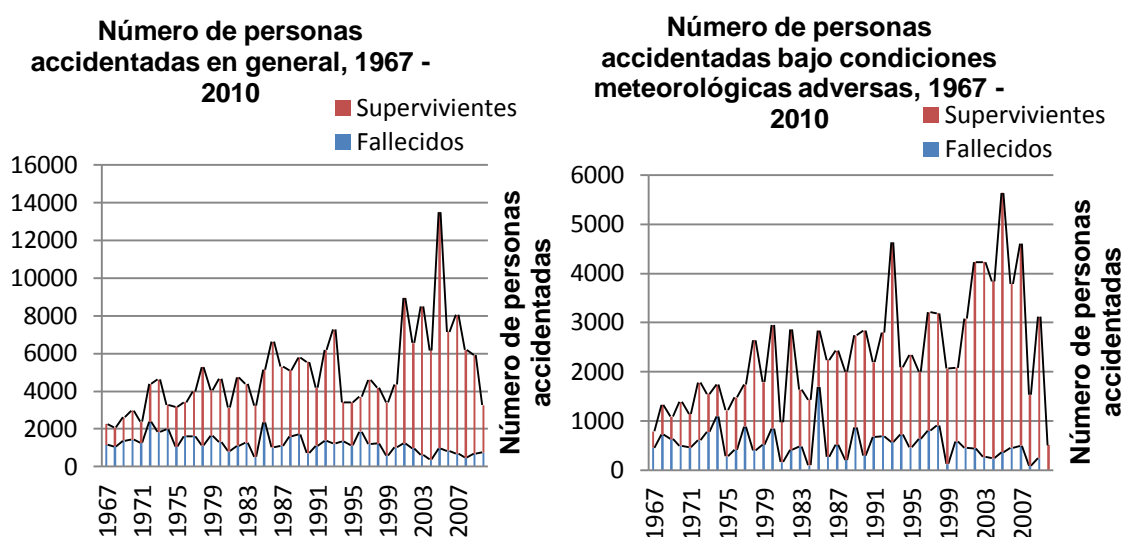
El gradiente de temperatura entre el ecuador y los polos se incrementó hasta en 5°C. Traduciéndose esto en una intensificación del vórtice polar estratosférico que dio lugar a una fase positiva de la Oscilación Ártica [33]. De esta forma se inhibe en gran parte, la entrada del aire frío del ártico en las latitudes medias, propiciando la intensificación y el desplazamiento del Jet Polar, y las tormentas típicas de invierno hacia mayores latitudes, produciéndose un invierno más cálido en el hemisferio norte con tormentas desplazadas hacia las latitudes más altas de la zona climática templada. Esto se ve reflejado en la *Figura 2.4.*, en el incremento de incidentes por tormentas, lluvia, nieve, niebla y CAT asociada al Jet de la zona 3 de 1993, factores que a su vez excepto la CAT, pudieron influir fuertemente en la visibilidad, tal y como se observa hasta en 5 casos.

Actualmente se prevé que en 2050, por culpa del calentamiento global, es decir duplicando la cantidad de dióxido de carbono en la atmosfera, la intensidad de las turbulencias aumente entre un 10% y 40%, incrementándose el espacio aéreo en el que se encontrarían turbulencias significativas entre un 40% y un 70%, y la frecuencia con la que se producirán en un 100%, es decir el doble [24]. La reducción del número de accidentes por turbulencias de la *Figura 2.4.* resulta un dato interesante, puesto que la erupción del volcán Pinatubo, se puede considerar como un estancamiento o ligero retroceso del cambio climático, es decir la hipótesis especulada se corrobora. De todo esto se deduce que la meteorología jugará un rol todavía más importante en el futuro, que será necesario alterar las rutas, que posiblemente aumenten los tiempos de vuelo, el consumo de combustible y los precios de los billetes, debido a la mayor frecuencia con la que se tendrá que realizar el mantenimiento de las aeronaves. Como dato orientativo las compañías aéreas invierten anualmente 114 millones de euros por turbulencias [24].

### **2.3. Análisis del número de ocupantes fallecidos, 1967 - 2010**

En los 2686 accidentes aéreos ocurridos entre 1967 y 2010, hubo un total de 217175 personas accidentadas, de las que resultaron heridas mortalmente 52739, es decir el 24,3%, estableciendo una media de 19,6 fallecidos por accidente aéreo. El número de personas accidentadas bajo condiciones meteorológicas adversas representa el 48,7% de las personas accidentadas durante todo el período, es decir 105726 personas. Como dato curioso

mentonar que la tasa de mortalidad es ligeramente más elevada en este tipo de accidentes con un 25,0%, traduciéndose en un total de 22726 fallecidos con una media de 20,7 fallecidos por accidente aéreo, a lo largo de todo el período. El dato más destacable mencionado de este apartado, es que prácticamente el 50% de las personas accidentadas, durante el desarrollo de las operaciones aéreas, son fruto de meteorología adversa, lo que demuestra la importancia y la necesidad de investigar en el desarrollo de nuevos modelos numéricos más exactos para las previsiones meteorológicas.



**Figura 2.5.** Número de personas accidentadas entre 1967 y 2010<sup>7</sup>  
(ver *Tabla A2.16.* del anexo 2)

En los gráficos se ve con claridad, que los peores registros en general durante todo el período se obtuvieron en 1970, 1972 y 1985, con 2428, 2387 y 2341 fallecidos respectivamente, siendo también 1985 con 1691 fallecidos el año con mayor número de fallecidos bajo condiciones meteorológicas adversas, es decir, el 72,2% de los fallecimientos ocurridos durante este año.

En contraste, si se compara las cifras generales de fallecidos totales de 1968 y 2002 o en adelante, 1076 y 978 fallecidos, se observa que no distan mucho y que son inferiores a la gran mayoría de las registradas entre 1970 y 1990, ambas por motivos distintos. El número reducido de fallecidos de 1968 y de los años 50 que no han sido incluidos en este estudio, puesto que aparecen en las páginas web de organismos no oficiales como ACRO, Airsafe, y Airdisaster, pero que tomo como referencia, se debe a que la aviación comercial a reacción se encontraba en sus inicios<sup>8</sup>. La demanda de tráfico aéreo era menor, y el número de ocupantes de las aeronaves accidentadas era inferior, debido a su capacidad limitada. Mientras que la cifra de 2002 se debe a las

<sup>7</sup> En las estadísticas de los ocupantes fallecidos de las aeronaves accidentadas no se han incluido los datos de la década de 1950 ni parte de la de 1960, debido a que el Anexo 13 de la ICAO se creó el 11 de abril de 1951, faltando experiencia en la recopilación de datos y apareciendo estos incompletos en algunos informes.

<sup>8</sup> El de Havilland DH.106 Comet fue el primer avión a reacción en 1953 con cuatro motores turbojet con una capacidad de 36 - 44 pasajeros, con 4 tripulantes, una longitud de 28,61 m, una envergadura de 34,98 m y una altura de 9 m. Su superficie alar era de 188,3 m<sup>2</sup> y su peso cargado de 47600 kg. Cada uno de sus motores podía proporcionar un empuje normal de 22,2 kN [Wikipedia].

mejoras en seguridad introducidas por la ICAO en forma de normativas o recomendaciones, traducándose esto en un aumento de la tasa de supervivencia del 48,2% (1968) al 85,1% (2002), iniciándose esta evolución especialmente en la década de los 90. La peor tasa de supervivencia registrada se obtuvo en 1970 con un 18,3%, mientras que la mejor fue en 2004 con un 93,8%. La tasa de supervivencia de la década del 2000 es del 88,9%, siendo muy superior a la obtenida entre 1967 y 2010 de un 70,5%, hecho que demuestra la evolución del mundo de la aviación hacia aeronaves más seguras.

Pese a tener bajo condiciones meteorológicas adversas, una media de mortalidad más alta durante todo el período, la media de supervivencia de la década del 2000 es ligerísimamente superior a la media global de esta década, siendo de un 89,2%. Ambas gráficas tienden a disminuir el número de fallecidos por año, pese a que se incrementan el número de accidentados, debido al aumento del tráfico aéreo y de la capacidad de las aeronaves a lo largo de los últimos años. Estos se reducen a partir de 2007.

**Tabla 2.2.** Comparativa entre la tasa de mortalidad anual de ocupantes de aeronaves accidentadas en general y la tasa de mortalidad anual de ocupantes de aeronaves accidentadas bajo condiciones meteorológicas adversas, verde = inferior a la tasa media general, rojo = superior a la tasa media general y amarillo = igual a la tasa media general (ver *Tabla A2.16.* del anexo 2)

|      | 0                 | 1  | 2                 | 3                 | 4                 | 5                 | 6                 | 7                 | 8                 | 9                 |
|------|-------------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 196X | N/D               | N/D  | N/D               | N/D               | N/D               | N/D               | N/D               | 51,2/ <b>57,5</b> | 51,8/ <b>54,0</b> | 52,2/ <b>58,2</b> |
| 197X | 81,7/ <b>35,7</b> | 53,2/ <b>40,1</b>                          | 54,5/ <b>34,0</b> | 39,8/ <b>49,8</b> | 60,8/ <b>63,0</b> | 32,9/ <b>22,9</b> | 47,2/ <b>28,3</b> | 40,5/ <b>50,7</b> | 21,4/ <b>15,3</b> | 40,3/ <b>28,9</b> |
| 198X | 28,0/ <b>28,7</b> | 26,2/ <b>16,3</b>                          | 23,3/ <b>14,3</b> | 28,9/ <b>29,2</b> | 15,9/ <b>6,6</b>  | 45,5/ <b>69,6</b> | 15,4/ <b>12,0</b> | 20,8/ <b>21,0</b> | 31,1/ <b>10,3</b> | 29,6/ <b>81,4</b> |
| 199X | 13,0/ <b>10,5</b> | 26,5/ <b>30,8</b>                          | 22,2/ <b>24,7</b> | 16,9/ <b>12,4</b> | 39,5/ <b>34,5</b> | 32,8/ <b>19,7</b> | 50,0/ <b>31,8</b> | 26,4/ <b>24,9</b> | 29,5/ <b>28,3</b> | 17,4/ <b>5,9</b>  |
| 200X | 23,5/ <b>27,7</b> | 13,6/ <b>14,7</b>                          | 14,9/ <b>10,5</b> | 7,3/ <b>6,2</b>   | 6,1/ <b>6,1</b>   | 7,1/ <b>6,4</b>   | 11,6/ <b>12,0</b> | 8,5/ <b>10,7</b>  | 7,7/ <b>5,8</b>   | 11,4/ <b>7,6</b>  |
| 201X | 22,9/ <b>0</b>    | Tasa media de mortalidad 24,3%/ <b>25%</b> |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |

## 2.4. ¿Cuáles son las fases de vuelo más propensas a sufrir accidentes aéreos por condiciones meteorológicas adversas?



**Figura 2.6.** Distribución de accidentes aéreos por fases de vuelo (Tabla A2.15. del anexo 2)

En color negro se muestran los porcentajes de accidentes aéreos y la tasa de mortalidad global por fase de vuelo, mientras que en color rojo se muestran los porcentajes de accidentes aéreos por causas meteorológicas sobre el total, junto con su tasa de mortalidad en función de su fase de vuelo.

Las fases más peligrosas del vuelo son aquellas en las que la aeronave está cerca de tierra, es decir durante el despegue, el ascenso inicial, el ascenso final, el descenso, la aproximación inicial, la aproximación final y el aterrizaje. Complicaciones en estas fases de vuelo, se suelen convertir en un accidente aéreo, debido a que la aeronave se encuentra en una configuración vulnerable. Su velocidad es reducida, necesita utilizar flaps y slats, es decir dispositivos hipersustentadores, y el piloto dispone de un margen de maniobra muy reducido.

Desde 1967 un total de 1809 accidentes aéreos, es decir un 67,3% de los analizados, han ocurrido durante estas fases, concretamente el 6% en el descenso, el 8,2% en el despegue, el 8,4% entre el ascenso inicial y el final, el 18,2% entre la aproximación inicial y la final, y el 26,5% en el aterrizaje, siendo por lo tanto, esta última fase, la más frecuente a padecer accidentes aéreos. Pese a presentar el mayor porcentaje de accidentes, su tasa de mortalidad es la más baja de todas con un 7,6%, a diferencia de las fases de despegue, ascenso, y aproximación, que muestran tasas que oscilan entre el 27,7% y el 61,7%.

**Tabla. 2.3.** Comparativa entre accidentes a nivel global y accidentes por causas meteorológicas en las fases de vuelo cercanas a tierra (ver *Tablas A2.14 y A2.15.* del anexo 2, información mucho más completa)

|             | Accidentes a nivel global |   |            |                 |              |
|-------------|---------------------------|---|------------|-----------------|--------------|
|             | Acc.                      | Personas Accidentadas                       | Fallecidos | % Acc. por fase | % Fallecidos |
| Take-off    | 221                       | 15868                                       | 4875       | 8,2             | 30,7         |
| Climb       | 225                       | 15529                                       | 8467       | 8,4             | 54,5         |
| Descent     | 162                       | 13710                                       | 3805       | 6,0             | 27,7         |
| Approach    | 488                       | 27784                                       | 17156      | 18,2            | 61,7         |
| Landing     | 713                       | 55218                                       | 4220       | 26,5            | 7,6          |
| <b>Suma</b> | <b>1809</b>               | <b>Accidentes por causas meteorológicas</b> |            |                 |              |
| Take-off    | 66                        | 6240  | 2325       | 2,5             | 37,3         |
| Climb       | 73                        | 6895  | 2901       | 2,7             | 42,1         |
| Descent     | 99                        | 10351                                       | 2066       | 3,7             | 20,0         |
| Approach    | 207                       | 13354                                       | 7811       | 7,7             | 58,5         |
| Landing     | 273                       | 24438                                       | 2212       | 10,1            | 9,1          |
| <b>Suma</b> | <b>718</b>                |   |            |                 |              |

#### 2.4.1. ¿Los datos obtenidos del estudio se ajustan a la realidad?

Tanto las condiciones meteorológicas del aeropuerto, como los sistemas de la aeronave, son revisados antes de despegar, motivo por el que la probabilidad



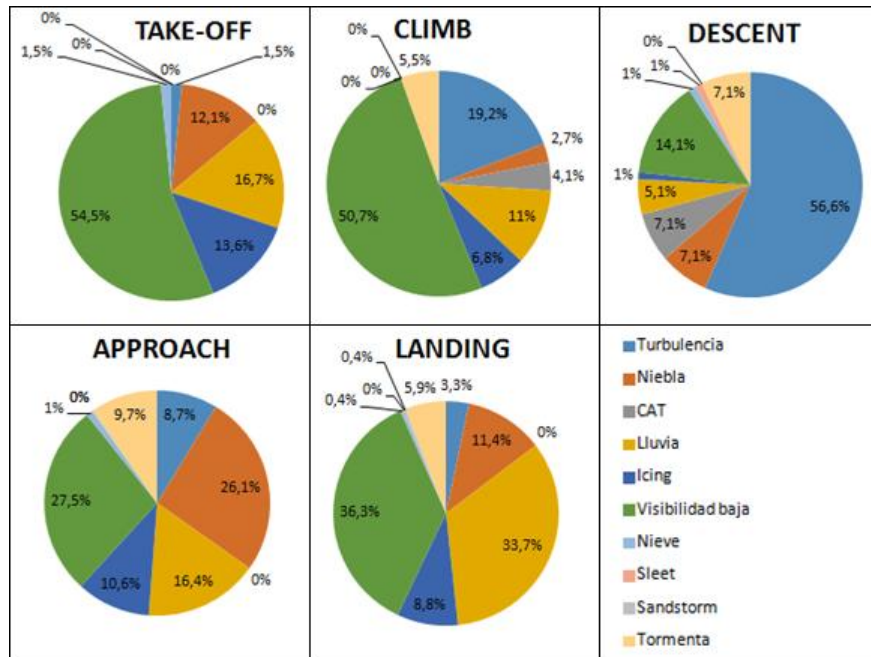
de sufrir un accidente durante el despegue o el ascenso, es inferior a la del resto de las fases de vuelo, excepto en el descenso, tal y como se expone. A medida que la aeronave se acerca a tierra la probabilidad aumenta, puesto que la aeronave para descender genera una sustentación inferior a su peso, volando a baja velocidad, convirtiéndose en un blanco fácil para cualquier perturbación externa que la pueda hacer entrar en pérdida, fallo humano o mecánico.

Respecto a la tasa de mortalidad obtenida, los accidentes durante la fase de aterrizaje son menos violentos, debido a que las aeronaves han consumido gran parte de su combustible a lo largo de toda la ruta. Otro factor que juega a favor, es que al producirse sobre la pista, los servicios de emergencia acceden más rápidamente a la aeronave. La elevada tasa de mortalidad registrada en las fases de despegue y ascenso, se debe a que las aeronaves van cargadas de combustible [64], y a las posibles complicaciones en el momento de realizar un In-Flight Turn Back (IFTB) durante la fase de ascenso, si parte de la aeronave ha quedado incapacitada. Finalmente, la tasa de mortalidad más elevada, se registra durante la fase de aproximación inicial y final, debido a que la aeronave todavía contiene combustible, su configuración de vuelo es vulnerable, está relativamente cerca de tierra, y fuera de la superficie de la pista.

#### **2.4.2. Estudio de la influencia de la meteorología en las fases de despegue, ascenso, descenso, aproximación y aterrizaje**

Del análisis realizado sobre estos datos, se obtiene como resultados que las condiciones meteorológicas adversas, han sido las responsables del 61,1% de los accidentes aéreos ocurridos durante la fase de descenso, del 42,4% durante la fase de aproximación inicial y final, del 38,3% durante la fase de aterrizaje, del 32,4% durante las fases de ascenso inicial y final, y del 29,9% durante la fase de despegue. Estas fases se han cobrado un total de 2066, 7811, 2212, 2901, y 2325 vidas respectivamente. Como dato curioso mencionar, que la tasa de mortalidad de accidentes aéreos por causas meteorológicas tanto en los despegues como en los aterrizajes, es superior a la tasa media con un 37,3% y 9,1%. De lo expuesto se deduce, que prácticamente en todas las fases de vuelo, un tercio de los accidentes aéreos ha sido causado por condiciones meteorológicas, excepto en la fase de descenso que llega a los dos tercios, hecho que muestra la dependencia de las aeronaves actuales de las condiciones atmosféricas, especialmente en el momento en el que la aeronave debe tomar tierra.





**Figura 2.7.** Comparativa de gráficos entre las distintas fases de vuelo, mostrando la influencia de los distintos fenómenos meteorológicos analizados sobre ellas (ver *Tabla A2.13.* del anexo 2)

#### 2.4.2.1. Visibilidad

El riesgo de sufrir un accidente aéreo por baja visibilidad aumenta cuando la aeronave vuela especialmente cerca de tierra, tal y como se puede observar en la figura el 36,3% de los accidentes por causas meteorológicas durante la fase de aterrizaje se debe a baja visibilidad, mientras que en el despegue el valor se dispara y el porcentaje alcanza su valor máximo con un 54,5%. Una posible explicación a este hecho, es que para aterrizar los pilotos disponen del ILS, es decir ayuda instrumental para aterrizar incluso con visibilidad nula, mientras que para despegar carecen de ayudas instrumentales. Para un piloto que opera en VFR las restricciones impuestas por la RVR son mayores durante el aterrizaje no pudiendo ser inferior a 800 m, mientras que para el despegue el límite esta en los 400 m [34].

#### 2.4.2.2. Turbulencias

La posibilidad de que una aeronave sufra un accidente como consecuencia de padecer una turbulencia disminuye a medida que la aeronave se acerca a la pista de aterrizaje. Las turbulencias en la pista durante la fase de despegue representan el 1,5% de los accidentes aéreos por causas meteorológicas durante esta fase, mientras que en el aterrizaje el 3,3%. Una hipótesis que explicaría la ligera diferencia entre estos dos porcentajes de accidentes aéreos que suceden sobre la pista, es que los pilotos a menudo llegan cansados y con poco combustible a los aeropuertos de destino y en algunas ocasiones fuerzan el aterrizaje bajo fuertes cizalladuras horizontales, mientras que en el caso de los despegues simplemente se cancela el despegue, y se espera a que las

condiciones meteorológicas sean las adecuadas. En fases de vuelo como el ascenso, el descenso y la aproximación, debido a que se desarrollan a mayor altitud, los porcentajes se disparan llegando a ser del 19,2%, del 56,6% y del 8,7% respectivamente, puesto que la variedad del tipo de turbulencias que se pueden presentar es mayor. Normalmente durante las fases de descenso, aproximación inicial y final, aterrizaje o incluso en los ascensos y los despegues se suelen encontrar turbulencias térmicas, mecánicas o windshear, siendo esta última el fenómeno más peligroso cerca de tierra, puesto que puede provocar un movimiento de alabeo sobre la aeronave y hacerla impactar contra el pavimento de la pista. Las turbulencias como la onda de montaña, excepto para la fase de descenso cerca de áreas montañosas y la CAT con un 7,1%, no suelen representar una amenaza para estas fases de vuelo.

#### *2.4.2.3. Lluvias, nieve y tormentas*

Las pistas contaminadas por nieve o por agua, representan una amenaza especialmente durante las fases de aterrizaje y despegue, con un 34,1% y un 18,2% de accidentes aéreos respectivamente. Esto se debe, a que no se ven afectadas únicamente las performances de la aeronave, sino que también se altera el coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) entre el pavimento y las llantas de las ruedas, aumentando tanto la distancia de frenado como la carrera de despegue. El mayor número de incidentes los produce el agua durante el aterrizaje. La espesa capa de agua puede generar lo que se denomina aquaplaning [35], en estas condiciones el coeficiente de rozamiento se hace casi despreciable, inhabilitando así el uso de los frenos y de la rueda delantera de morro para maniobrar.

Durante el despegue la maniobrabilidad es menos exigente en tierra y adicionalmente al conocer ya el estado de la pista, se prohíbe realizar despegues de empuje reducido y se reduce el Maximum Take-off Weight (MTOW), de este modo, el aquaplaning difícilmente causa que la aeronave se salga de pista, aunque aún así puede ocurrir, motivo por el que porcentaje de accidentes es inferior al de aterrizajes [36].

El efecto de la lluvia sobre la aeronave disminuye con la altura tal y como se observa en las otras dos fases. Durante el ascenso, la aproximación inicial y final, y el descenso, se reducen los porcentajes a un 11%, a un 16,4% y un 5,1% respectivamente.

#### *2.4.2.4. Niebla*

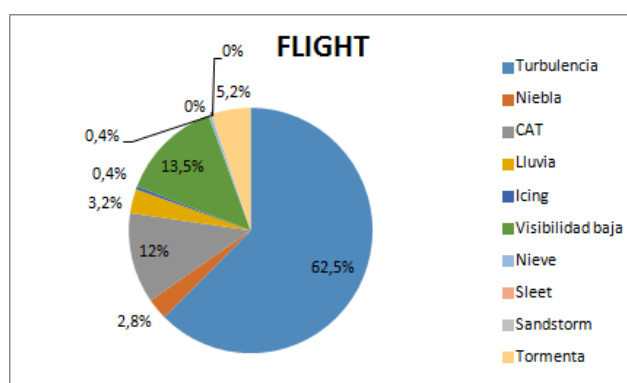
La niebla tiende a disminuir la percepción del piloto sobre la pista, motivo por el que resulta especialmente peligrosa durante la fase de aproximación, siendo la responsable del 26,1% de los incidentes en esta fase, mientras que sobre la pista durante el despegue y el aterrizaje, el porcentaje se reduce a un 12,1% y un 11,4% respectivamente. Resultando ser la fase más segura la de ascenso con un 2,7%, seguida de la descenso con un 7,2% de sucesos. Esto se debe, a que la niebla suele ser una nube estratiforme arrán del suelo, que raramente se desarrolla verticalmente, aunque fuertes vientos pueden propiciar su ascenso.

#### 2.4.2.5. Englamiento

La probabilidad de englamiento en superficie es realmente baja. Este, normalmente se produce en el interior de los cumulus y de los cumulonimbus. En las operaciones de aterrizaje, es el causante del 8,8% de accidentes, pudiendo haber bloqueado el tren de aterrizaje retráctil o alguna de las superficies de control de la aeronave, mientras que en el despegue, es el responsable del 13,6%, muy probablemente por escarcha.

La probabilidad de que este fenómeno produzca un accidente disminuye, con el aumento de la altitud, puesto que el piloto dispone de mayor tiempo de reacción para identificar el problema y recuperar la aeronave, tal y como se muestra en los gráficos, se disminuye de un 10,6% en la aproximación a un 1% en el descenso, mientras que en el ascenso a un 6,8%. Normalmente el problema de muchos pilotos es identificar la presencia de Icing, especialmente si se trata de cristales de hielo, siendo las tormentas durante la aproximación inicial y final con un 9,7%, potentes elementos generadores de hielo.

#### 2.4.3. Estudio de la influencia de la meteorología en la fase de crucero



**Figura 2.8.** Distribución porcentual de los fenómenos meteorológicos, que han causado o contribuido a accidentes aéreos durante la fase de crucero (ver *Tabla A2.13.* del anexo 2)

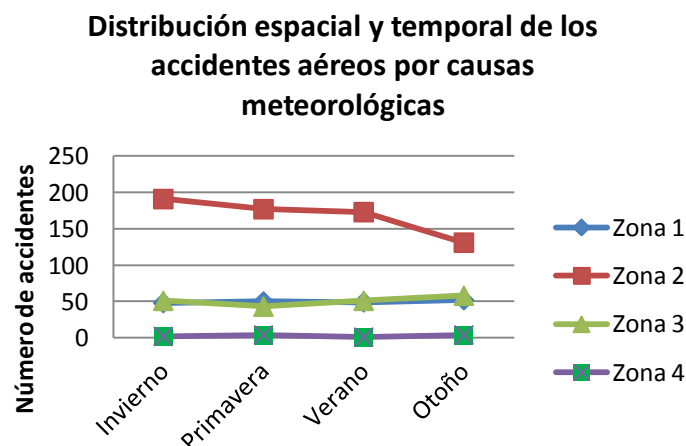
La fase de crucero está considerada como la más segura desde que la aeronave abandona tierra, la aeronave suele encontrarse a una altitud de 10000 m lejos de condiciones meteorológicas adversas, teniendo el piloto un margen de maniobra grande ante cualquier complicación. Las causas de estos accidentes suelen ser fallos mecánicos, errores humanos, colisiones con otras aeronaves o con zonas montañosas. Su tasa de mortalidad global es del 21,9% de los ocupantes, inferior a la de las fases mencionadas anteriormente, excepto en el aterrizaje. Realmente se producen el 18,9 % de los accidentes aéreos en esta fase, es decir 510 accidentes aéreos, de los que el 49,2% surge como consecuencia de la distribución de los fenómenos meteorológicos expuesta en la *Figura 2.8.*, cabe mencionar que su tasa de mortalidad es menor con un

10,8%, puesto que la aeronave normalmente no se ve seriamente dañada en estas circunstancias.

En la *Figura 2.8.* se observa que los parámetros de visibilidad, niebla, y lluvia que jugaban un rol importante en las fases cercanas a tierra, pasan a jugar un papel secundario en esta fase, con un 13,5%, 2,8%, y un 3,2% respectivamente. Es decir, son las responsables del 19,5% del total de los incidentes por causas meteorológicas, a diferencia de en la fase de aterrizaje que representaban el 81,4%, en el despegue el 83,3%, en la aproximación el 70,0%, en el ascenso el 64,4% y en el descenso el 26,3%. Las turbulencias con un 62,5% y las CATs con un 12% en la fase de crucero, es decir con un total del 74,5%, junto con un 5,2% causado por las tormentas, son las que representan realmente una amenaza, no solo por su intensidad, sino que también por la dificultad en su detección. Es decir, el cambio climático, tal y como se ha especificado anteriormente afectará especialmente a esta fase de vuelo.

Finalmente, quedan por analizar los accidentes en pista, que incluyen la fase de taxi, carga y descarga de la aeronave, y se suelen deber a la colisión de aeronaves en tierra o aeronaves que abandonan los márgenes de seguridad de pista, ya sean por errores humanos inducidos por la meteorología envolvente, o por fallos mecánicos. Este porcentaje de accidentes aéreos, no suele superar el 13,5%, y su tasa de mortalidad es relativamente baja del 7,6%, estando el 35,5% de estos incidentes causados por meteorología adversa con una tasa de mortalidad del 13,8%, superior a la media.

#### 2.4.4. ¿Influyen las estaciones del año en el número de accidentes aéreos?



**Figura 2.9.** Distribución de accidentes aéreos por causas meteorológicas en función de la estación del año, y de la zona climática (ver *Tablas A2.10.* y *A2.12.* del anexo 2)

En la *Figura 2.9.*, tanto en la zona 1,3 y 4, parece que las estaciones del año no tienen ninguna influencia sobre el número de accidentes aéreos por causas meteorológicas. En la zona 2 se observan variaciones desde el invierno hasta el otoño, descendiendo el número de accidentes aéreos de 191 a 131, mientras que entre primavera y verano este valor permanece constante entre 177 y 173. La zona 2 se puede considerar dentro del clima cálido subtropical, teniendo una temperatura media anual de 18°C, en invierno 15°C y en verano, 21°C. Las precipitaciones son cercanas a los 1200 mm y se pueden presentar durante todo el año (sin estación seca) o sólo en invierno (con estación seca), motivo por el que se observa esta variación en la gráfica.

La zona1 representa la zona tropical, no existe diferencia entre verano 27°C e invierno 24°C, siendo las precipitaciones mayores que 2000 mm y no se presentan fuertes vientos, motivo por el que la gráfica se mantiene constante.

La zona 3 presenta un clima templado, con ligeras variaciones en el número de incidentes, siendo ligeramente superior en invierno e incrementándose en otoño.

La zona 4 representa el clima polar, se caracteriza por tener casi permanentemente temperaturas por debajo de 0°C; y escasas precipitaciones. La humedad en el aire es inexistente y el viento suele ser bastante intenso, razón por la que también su gráfica permanece constante.

Finalmente se deduce, que las estaciones de año ejercen una mayor influencia en el número de accidentes aéreos en la zona 2 durante el invierno, y en la zona 3 en otoño.

## **CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL MODELO WRF PARA LA SIMULACIÓN, LA RECONSTRUCCIÓN Y EL ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS PRESENTES EN LA RUTA DEL AF447**

En este capítulo, se determinan cuáles fueron las condiciones meteorológicas presentes en la ruta del AF447, a partir de un radiosondeo y de fotografías IR obtenidas de los satélites GOES-10 y METEOSAT-9. Complementariamente se ha realizado una simulación WRF de alta resolución, que proporciona información sobre el Cloud Mixing Ratio, la precipitación y la presencia de hielo en los altos niveles de la troposfera. Al final del capítulo se examinan los mensajes de alerta y de falla emitidos por el Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS) durante los últimos 4 minutos de vuelo, demostrándose que la meteorología que envolvía a la aeronave, fue la responsable principal directa e indirectamente de que numerosos sistemas de abordaje fallasen. Si se desea más información en el apartado A3.1. del anexo 3, se ha especificado el motivo por el que se ha decidido analizar este accidente en concreto.

### **3.1. Datos generales del accidente**

El Airbus A330-203 (F-GZCP) de la compañía Air France desapareció el 1 de junio de 2009 con 216 pasajeros y 12 tripulantes sobre el océano Atlántico. La aeronave se encontraba en plena fase de crucero por la aerovía UN873, volando en el FL350, mientras cubría la ruta Río de Janeiro-París. Partió del Aeropuerto Internacional de Galeão a las 22:00 UTC el domingo 31 de mayo de 2009, y se esperaba que aterrizase en el Aeropuerto de París-Charles de Gaulle a las 09:15UTC del 1 junio.

En el apartado A3.2. del anexo 3 se expone la ruta que siguió el AF447 trazada con Google Earth. El último contacto por radar se realizó a las 01:48 UTC, cuando fue detectada por el radar situado en el archipiélago de Fernando de Noronha. Alrededor de las 02:00 UTC cerca del Waypoint ORARO alteró su ruta 12° a la izquierda. Más tarde entre las 02:10 UTC y las 02:14 UTC surgieron complicaciones. En este período el ACARS emitió un total de 24 mensajes de alertas y errores. Entre los más graves se encontraban, la desconexión del piloto automático de forma involuntaria y la invalidez tanto de las indicaciones de velocidad como de las referencias inerciales. Finalmente la aeronave impactó en el océano Atlántico a unos 300 km de la ciudad Natal (noreste de Brasil). ¿Por qué se desvió la aeronave de su ruta? ¿Tuvieron algo que ver las condiciones meteorológicas presentes?

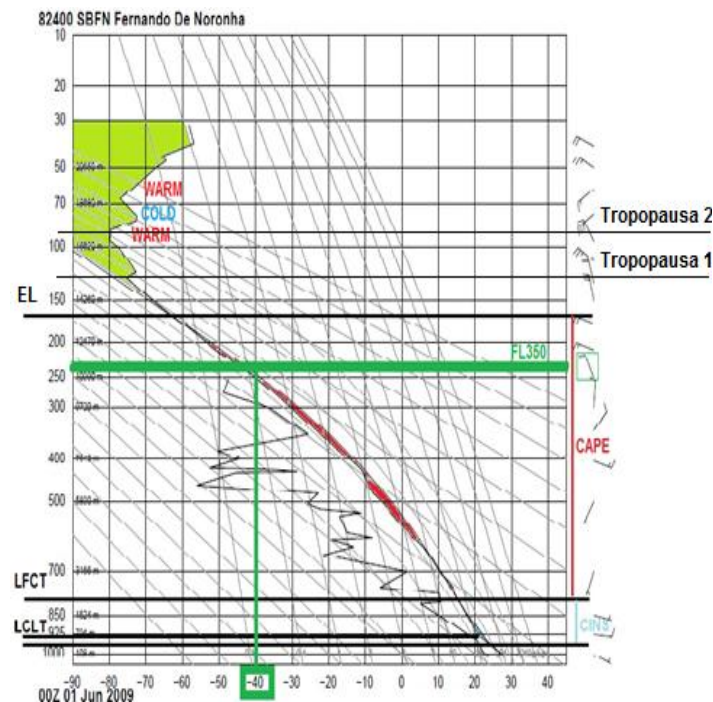
## 3.2. Análisis de las condiciones meteorológicas presentes

En este apartado se efectúa un extenso análisis de las condiciones meteorológicas presentes en el lugar y la hora del accidente, que responderá las dos cuestiones formuladas en el apartado 3.1.

### 3.2.1. Perfil vertical de la atmosfera

Se analiza el radiosondeo de las 00Z del 1 de junio de 2009 de la estación de San Fernando De Noronha (SBFN) situada en la región tropical con coordenadas 3°51'00" N, 32°24'36" W con la intención de obtener una idea aproximada del perfil vertical de la atmosfera en el lugar del accidente. Los datos proporcionados por el radiosondeo serán meramente orientativos, debido a que la estación está situada ligeramente al noroeste de las coordenadas de impacto (3°03'57" N, 30°33'42" W), y a que el accidente se produjo sobre las 02:00 UTC, es decir dos horas más tarde.

En el apartado A3.3. del anexo 3, se proporciona una tabla de datos numéricos exactos de cada uno de los parámetros recogidos en el radiosondeo, para las distintas altitudes que modelan el diagrama de Stüve expuesto en la *Figura 3.1*. Obteniéndose información sobre la altitud de la tropopausa, del tipo de nubosidad, de la altitud de su base y cima, de la intensidad de tormentas, de la dirección del viento y magnitud, de la temperatura y de la estabilidad atmosférica.



**Figura 3.1.** Radiosondeo, 82400 SBFN Fernando De Noronha a las 00:00 UTC del 01 de Junio de 2009 [15]

### *3.2.1.1. Fenómenos meteorológicos presentes en la distribución del perfil vertical de la atmosfera, determinados como no responsables o contribuyentes al accidente aéreo*

En el radiosondeo se observa una doble tropopausa entre los 150 y 70 mb. La doble tropopausa no es más que la ruptura de la tropopausa simple, como consecuencia de la intensificación de la circulación ageostrófica del jet subtropical, quedando de este modo definida la altitud de circulación del jet entre ambas tropopausas [10].

Observación que permite afirmar que las turbulencias de aire claro asociadas al jet y las ondas gravitatorias asociadas a las inversiones térmicas en altos niveles de la troposfera, tal y como se describió en el capítulo 1, no comprometieron aparentemente la seguridad del vuelo, puesto que la aeronave volaba en un Flight Level, aproximadamente 5 km inferior a la altitud en la que se desarrollaban estos fenómenos meteorológicos.

### *3.2.1.2. Hipótesis de los fenómenos meteorológicos responsables o contribuyentes al accidente aéreo a partir del radiosondeo*

La diferencia entre la temperatura de superficie de 26,8°C y la del punto de rocío de 22,7°C es inferior a 5°C, y la humedad relativa es del 78% [15], siendo ambos datos un indicativo muy claro de la posible existencia de nubes o niebla en los niveles bajos de la troposfera, situando la base de las nubes, es decir el nivel de condensación por elevación, alrededor de los 698,2 m (LCL).

La separación entre el Limit of Free Convection (LFC) de 1961,9 m y el LCL de 698,2 m es inferior a 2 km y el valor de la Convective Inhibition (CINS) es relativamente bajo con -27,10 J/kg. Ambos parámetros indican que la nubosidad desarrollada en la que tuvo que operar la aeronave posiblemente fuese de carácter cumuliforme, cuya cima estuvo situada probablemente alrededor del nivel de equilibrio (EL) en los 13280 m con temperaturas de -65°C, o incluso pudo llegar dependiendo del updraft hasta los 18199 m con temperaturas de -73,0 °C.

El valor de la Convective Available Potential Energy (CAPE) de 638,8 J/kg, es decir el área roja del gráfico, denota que las posibles tormentas fueron de carácter leve o moderado, puesto que la CAPE registrada en el radiosondeo es inferior a los 1000 J/kg y su updraft máximo es de 17,87 m/s, valor obtenido de la fórmula  $w = 0,5 * (2 * CAPE)^{0,5}$  [30].

En resumen extrapolando los datos obtenidos del radiosondeo a la hora y el lugar del accidente exactos, se concluye que en el FL350 la temperatura exterior en la que volaba la aeronave oscilaría cerca de los -40°C, y el viento debía soplar desde el NW (330° - 340°) con una velocidad media de 5,14 m/s (10 kts). Desarrollándose el vuelo muy posiblemente en un entorno de tormentas leves o moderadas, repletas de hidrometeoros y regiones turbulentas, cuya cima podía alcanzar los 18199 m y su updraft máximo los 17,87 m/s.



### 3.2.2. Ubicación y análisis meteorológico de las posibles tormentas presentes en la ruta del AF447

¿Comprometió alguna de las posibles tormentas existentes mencionadas en el apartado 3.2.1. la seguridad del vuelo 447? Para responder esta pregunta es necesario determinar la ubicación de las tormentas respecto a la ruta del vuelo. El mejor recurso del que dispongo para ello son fotografías IR proporcionadas por la flota de satélites METEOSAT Y GOES, puesto que esta región del océano Atlántico carece de radares de superficie, y la información del radar meteorológico de la aeronave no se guarda en ninguna unidad de almacenamiento.

#### 3.2.2.1. ¿Qué es una fotografía de satélite IR y por qué utilizar una fotografía IR?

Una fotografía de satélite IR, es un mapa térmico de la tierra y de las cimas de las nubes. Las áreas más frías, es decir las áreas que emiten menor radiación, tienden a ser blancas en las fotografías, mientras que las cálidas, que son las que mayor radiación emiten, pasan a ser regiones oscuras. Esta inversión del código de colores permite comparar la nubosidad de las imágenes del canal visible con las del canal infrarrojo. Por lo tanto las imágenes IR son ideales para la detección de la nubosidad cuyas cimas son realmente frías, ya sea porque sean nubes cumuliformes de fuerte desarrollo vertical o nubes estratiformes situadas en altos niveles de la troposfera.

#### 3.2.2.2. Limitaciones presentes en el análisis meteorológico de una fotografía IR

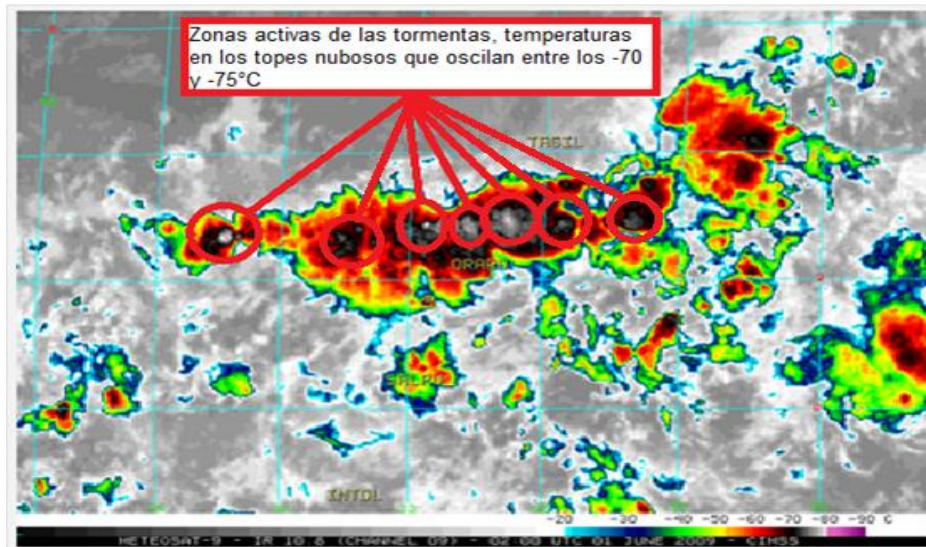
Extensas coberturas de nubosidad cirriforme o de nubosidad estratiforme que se disipen en la alta troposfera pueden enmascarar la posición de las regiones convectivas de las tormentas, o hacer creer que la nubosidad fue mucho más extensa de lo que lo fue realmente en el FL350. Es decir, la extensión de la nubosidad vista en la fotografía IR de la *Figura 3.2.* que se analizará a continuación, no representa exactamente la vista por los pilotos en el momento del accidente [11].

#### 3.2.2.3. ¿Cómo se ha mitigado ligeramente este problema?

A la imagen IR se le ha realizado un realce en infrarrojo [30], que no es más que un computador o un equipo receptor de satélites asigne colores específicos a ciertos rangos de temperatura. Introduciendo estas temperaturas en el radiosondeo se consigue asociar regiones de nubosidad a una altitud determinada. Hecho que permite descartar toda la nubosidad con temperaturas en sus cimas superiores a los -40 °C, puesto que significa que la aeronave la sobrevolaba.

#### 3.2.2.4. Análisis de la fotografía IR ( $\lambda = 10,8 \mu\text{m}$ ) tomada por el satélite Meteosat-9 a las 02:00 UTC

La fotografía IR ( $\lambda = 10,8 \mu\text{m}$ ) del satélite METEOSAT-9 de la *Figura 3.2.* muestra la presencia de un Sistema Convectivo de Mesoescala- $\alpha$  (MCS) con un ciclo de vida medio que oscila entre 6 horas y 2 días, intersectando la ruta del Air France 447 entre el punto SALPU y TASIL. Se originó sobre las 23:00 UTC, entre las latitudes  $2^\circ \text{ N}$  y  $4^\circ \text{ N}$ , y las longitudes  $25^\circ \text{ W}$  y  $35^\circ \text{ W}$ , siendo penetrado por el AF 447 sobre las 02:00 UTC.



**Figura 3.2.** Fotografía proporcionada por el satélite Meteosat-9 realizada en infrarrojo del MCS presente en la ruta del Air France 447 [27]

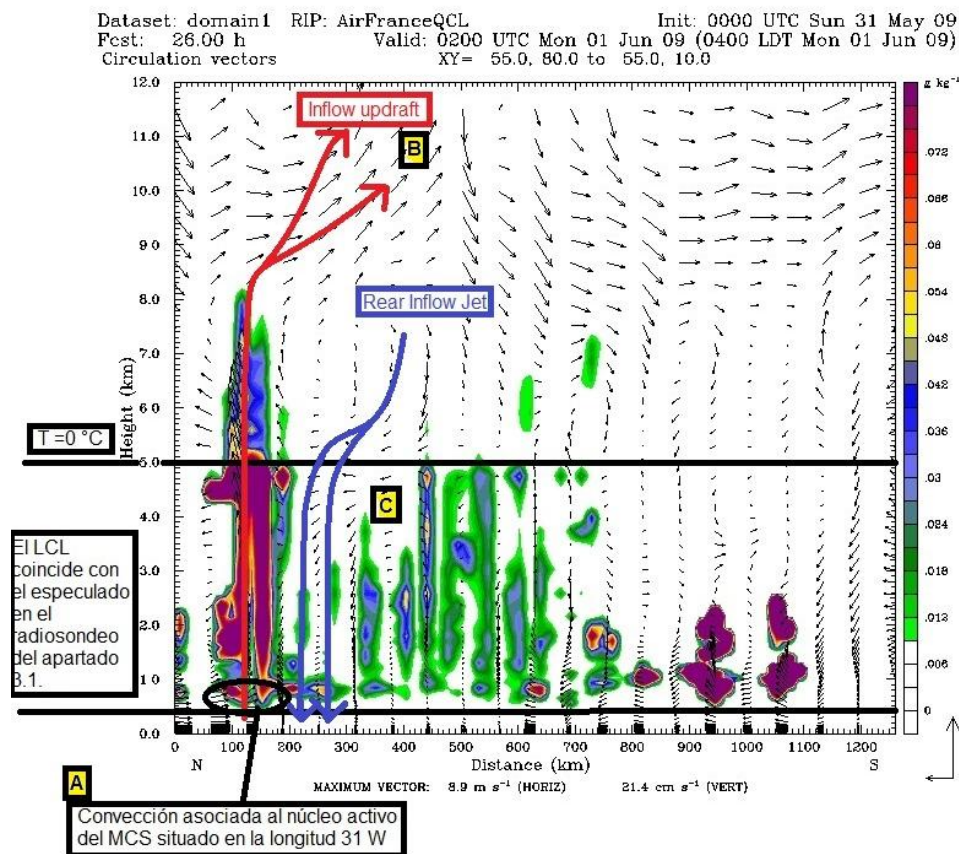
En el MCS se observan racimos de células de CB organizados en forma de banda nubosa alargada, cuyas cimas están ubicadas en las áreas negras o grisáceas, es decir en las zonas más frías del sistema con temperaturas que oscilan entre  $-70^\circ\text{C}$  y  $-75^\circ\text{C}$ . Estas son las zonas activas de las tormentas, puesto que para mantener la materia nubosa cerca de los 18 km de altitud, es necesario que existan corrientes ascendentes intensas, tratándose por lo tanto de las regiones del sistema que presentan un mayor riesgo de turbulencia para la aeronave.

El restante 90% del material nuboso visto en esta fotografía tal y como se ha descrito en el apartado 3.2.2.2. no es más que una cobertura extensa de cirrus cumulogénitos, u otro tipo de nubosidad estratiforme generada por cizalladura sobre las corrientes descendentes. También podría tratarse de restos de la actividad tormentosa ocurrida a lo largo del día que se disipaba entre los 35000 y 45000 ft. Según los parámetros de la velocidad y la dirección del viento del radiosondeo entre los 253 mb y los 162 mb y la figura del apartado A3.4. del anexo 3 que muestra la circulación del viento entre los 500 mb y los 100 mb, el viento soplabá del norte con velocidades superiores a los 12 kts e inferiores a los 19 kts. Esto explica de forma lógica la configuración del MCS observada en la fotografía IR. La nubosidad estratiforme aparece desplazada hacia el sur,

mientras que los focos activos, es decir las regiones convectivas, permanecen en el norte del sistema. Adicionalmente en el apartado A3.5. del anexo se adjuntan fotografías IR del satélite GOES-10, que muestran la formación y la evolución del MCS en el período comprendido entre las 20:00 UTC del 31 mayo de 2009 y las 04:00 UTC del 1 junio de 2009, corroborando lo expuesto en este subapartado.

### 3.2.2.5. Análisis de la estructura interna del MCS mediante el modelo WRF

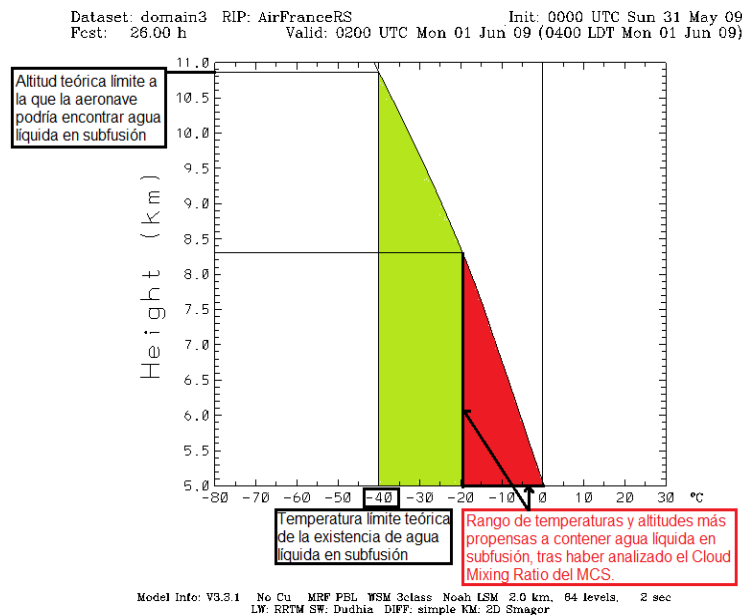
Utilizando el modelo WRF se ha simulado la estructura vertical del MCS de N a S sobre la longitud 31 W desde la superficie hasta los 12 km de altitud (ver Figura 3.3.). En esta figura se muestra la circulación del aire en el interior del MCS y el Cloud Mixing Ratio, es decir los g de hidrometeoros (agua/nieve/hielo) por kg de aire. Parámetros que permitirán determinar en las siguientes líneas de este subapartado la etapa en la que se encontraba el sistema, y estimar qué tipo de hidrometeoros estuvieron presentes en el nivel de vuelo de la aeronave.



**Figura 3.3.** Simulación con el modelo WRF del Cloud Mixing Ratio presente a lo largo de la estructura vertical MCS, A = Región convectiva, B = Región estratiforme, C = Embolsamiento de aire frío

En la *Figura 3.3.* se observa como los vientos convergen en superficie generando un Inflow Updraft que provoca el ascenso de masas de aire cálido y húmedo en la región A, es decir en la zona convectiva del sistema. La melting layer se puede apreciar alrededor de los 5 km, cuando teóricamente según la atmosfera estándar internacional (ISA) debería estar situada sobre los 2,4 km, propiciando así que la aeronave encontrase temperaturas superiores a las esperadas en su nivel de vuelo, es decir debió operar en ISA +14 (ver apartado A3.6. del anexo 3).

Los primeros 5 km de esta región presentan una concentración especialmente alta de hidrometeoros por kg de nube cerca de los 0,078 g/kg. Desde los 5 km hasta los 8 km de altitud, es decir tras penetrar la melting layer el valor del Cloud Mixing Ratio disminuye a 0,042 g/kg y se reduce a valores inferiores a los 0,008 g/kg para altitudes superiores. Los valores obtenidos del Cloud Mixing Ratio y la variación de este parámetro con la altitud, se asemejan mucho a los obtenidos en otros estudios sobre nubosidad convectiva, tales como el [12], hecho que induce a pensar que los resultados obtenidos son plausibles y correctos. En función del estudio [12], se determina que sobre los 10668 m de altitud los hidrometeoros típicos reinantes en el MCS respectivamente, debieron ser los cristales de hielo y granizo. ¿Operando en ISA + 14 con una temperatura exterior de -40°C en esta altitud es posible descartar la presencia de agua en subfusión?



**Figura 3.4.** Perfil vertical de la temperatura en la región y hora del accidente a partir de la simulación WRF en el punto lat -1,55 y lon -33,15. Área roja indica la presencia de agua en subfusión. El área verde representa la región menos probable de agua en subfusión

La respuesta es sí. Comparando los datos del Cloud Mixing Ratio expuestos y el perfil vertical de temperatura en el lugar del accidente que se muestra en la *Figura 3.4.* de la simulación, se concluye que pese operar la aeronave en ISA

+14, la región más propensa del MCS de contener agua líquida en subfusión se encontraba entre los 5 y 8,3 km de altitud, hecho por el que se descarta que la aeronave, pudiese padecer engelamiento por el impacto de gotas en subfusión sobre el fuselaje, puesto que volaba a 10668 m. Teóricamente sin conocer los datos del Cloud Mixing Ratio, no se hubiera podido descartar, puesto que se puede encontrar agua líquida en subfusión alrededor de los  $-40^{\circ}\text{C}$ , equivalentes en el lugar y a la hora del accidente a unos 10900 m de altitud.

Entre los 8 y 12 km de altitud el viento procedente del norte desplaza el Inflow Updraft hacia la parte trasera de la región convectiva entrando en el yunque, es decir hacia la región estratiforme, desplazando por lo tanto una gran cantidad de cristales de hielo hacia ella, siendo por lo tanto la concentración de cristales de hielo superior en la región estratiforme del MCS. Es decir, la aeronave debió atravesar extensas áreas repletas de cristales de hielo.

Adicionalmente, para más información y corroborar los resultados expuestos, en el apartado A3.7. del anexo 3 se muestran algunos gráficos obtenidos de [12], que especifican de forma visual, el tipo de hidrometeoros que se suelen encontrar en las nubes fuertemente convectivas, y cómo suele variar su concentración en función de la altitud.

¿En qué etapa se encontraba el MCS?

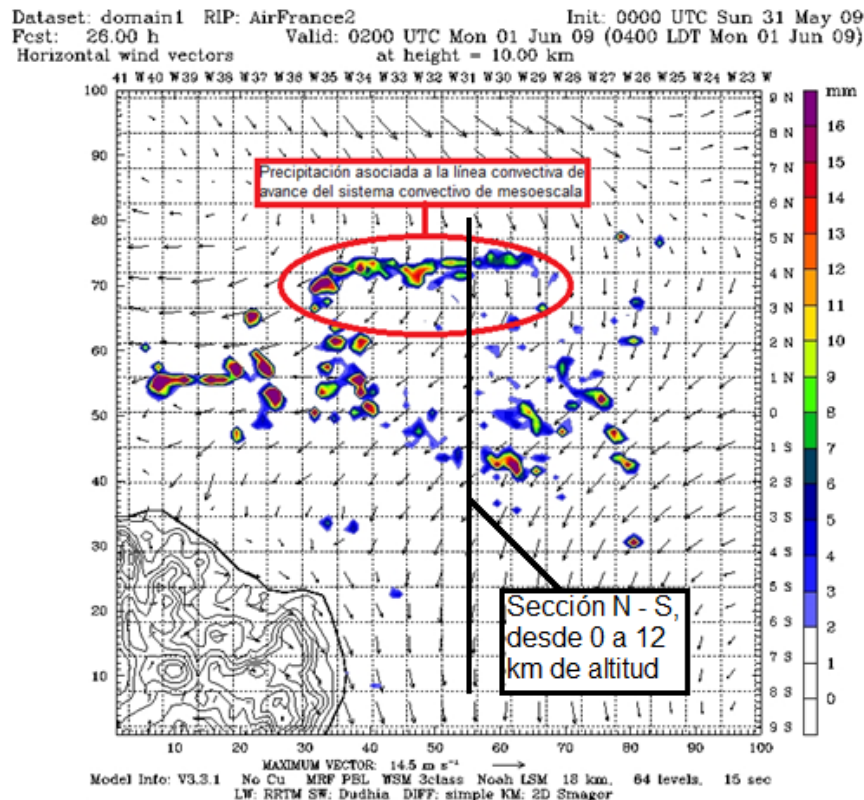
La precipitación del MCS tanto estratiforme como convectiva libera una gran cantidad de calor latente, especialmente en la parte espesa del yunque estratiforme cerca de la línea de convección activa, generando bajas presiones hidrostáticas sobre el embolsamiento de aire frío. Se forma por lo tanto un flujo de aire seco trasero descendente tal y como se observa en la *Figura 3.3.*, desde la nubosidad estratiforme hacia la superficie alrededor de la zona de convección. Este flujo genera una retroalimentación positiva que aumenta la convección en los niveles bajos de la troposfera, hecho que permite afirmar que el sistema estaba plenamente desarrollado y por lo tanto en su etapa de madurez, representando realmente una amenaza para la integridad del Air France 447.

#### 3.2.2.6. Análisis de la precipitación presente en el MCS

A partir de la configuración del MCS expuesta en el apartado 3.2.2.4. deduzco que las precipitaciones de intensidad moderada se ubicaron en el norte del sistema, tal y como se muestra en la *Figura 3.5.*, de la que también se extrae que las tormentas de carácter fuerte se produjeron en el NW del MCS entre las longitudes 35 W y 36 W superando los 16 mm/h. La restante nubosidad estratiforme al sur del sistema generó precipitaciones de carácter débil alrededor de los 2 mm/h.

Es necesario mencionar, que la banda de precipitación aparece desplazada un grado hacia el norte en el modelo WRF (4 N), respecto a la posición que se había estimado en la fotografía por satélite (3 N). Esta diferencia es natural, se debe normalmente a errores en las inputs GFS y a las ecuaciones que usa el modelo WRF para interpolar los parámetros.





**Figura 3.5.** Simulación de la precipitación en mm del MCS a 10 km

### 3.2.2.7. Conclusiones del análisis del MCS

De este análisis se concluye que la aeronave atravesó durante los primeros 10 minutos una extensa área de nubosidad estratiforme, compuesta mayormente por cristales de hielo, en la que predominaban precipitaciones, turbulencias de carácter débil y regiones cargadas eléctricamente (ver apartado A3.8 del anexo 3). A medida que la aeronave se acercó a los núcleos activos del sistema, las precipitaciones pasaron a ser de carácter convectivo y las turbulencias se intensificaron, no superando nunca el umbral de intensidad moderada, puesto que la aeronave penetró el MCS por el SE y trató de salir por el NE, siendo esta la región activa del MCS, menos intensa. La aeronave se precipitó justamente cuando alcanzo el interior de uno de los núcleos convectivos. En el apartado A3.9. del anexo 3 se expone una tabla de la BEA que muestra el nivel de turbulencia observado durante el vuelo, el factor de carga no superó nunca los 0,5 g, corroborando que las turbulencias fueron de carácter débil (ICAO). Los picos de mayor turbulencia observados coinciden con el paso de la aeronave a través de la célula tormentosa de SALPU y del MCS. Este dato permite descartar a las turbulencias como responsables de haber causado algún daño estructural a la aeronave. Tras el análisis no se ha encontrado nada especialmente peculiar en el MCS en lo referente a los parámetros meteorológicos, se trata un MCS típico de la región tropical a los que los pilotos están acostumbrados, y que evitan nada más detectarlos en el radar meteorológico de la aeronave.

### 3.3. ¿Qué efecto tuvieron las condiciones meteorológicas presentes, sobre los sistemas de la aeronave y las decisiones de los pilotos?

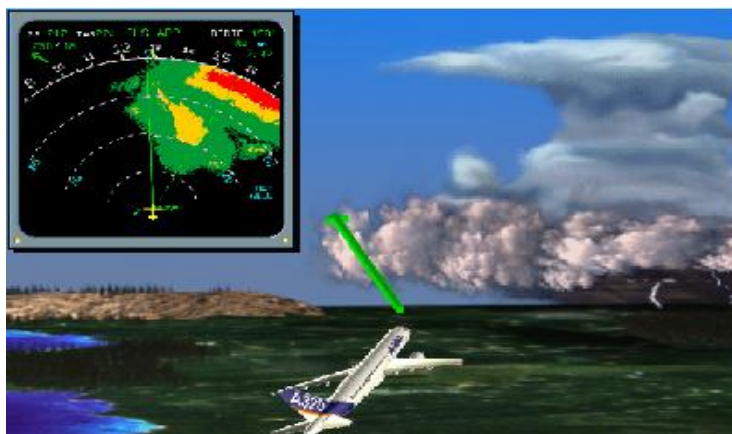
#### 3.3.1. ¿Por qué no alteró el vuelo 447 su ruta para rodear el sistema convectivo de mesoscala?

El Airbus A330-203 estaba equipado con un radar meteorológico Collins WXR 700X-623 con una antena plana (P/N : 622-5132-623), cuyo ángulo de apertura del haz en elevación era de 3,6° y en azimut de 3,7°.

Entre el radar de la aeronave y el sistema convectivo de mesoscala, se formó rápidamente una célula tormentosa en el Waypoint SALPU, que pudo atenuar fuertemente la señal del radar, generando así tras esta, una zona falsa de ausencia de ecos. Este desafortunado incidente pudo hacer creer a los pilotos que tras la tormenta no había ningún tipo de actividad, o que si la había fuese de menor intensidad que la real. A todo esto hay que sumarle el hecho de que las tormentas sobre el mar son mucho menos reflectantes que las que se producen sobre tierra, motivo por el que son más difíciles de detectar.

Otro factor que pudo contribuir, es que el selector de ganancia del radar se encontraba en modo calibrado, en lugar de en máxima ganancia, siendo por lo tanto los ecos en el Navigation Display (ND) mucho menos perceptibles.

El AF447 se desvió cerca del Waypoint ORARO, únicamente 12° a la izquierda de su ruta original, yendo directo hacia uno de los núcleos activos del MCS. La intensidad de la tormenta en SALPU 37 min después de ser sobrevolada por el AF447 había disminuido notablemente, permitiendo a vuelos como el AF459 que realizaban la misma ruta y que disponían del mismo radar meteorológico a bordo configurado en modo de máxima ganancia, ver el MCS y alterar su ruta entre 70 y 80 NM. Hecho que permite confirmar las conjeturas de que tanto la tormenta de SALPU como el error en la selección del modo de trabajo del radar, fueron los causantes de que los pilotos del AF447 fueran directos al MCS.



**Figura 3.6.** Detección de un MCS en el WXR de un A330 [29]

### 3.3.2. Reporte ACARS

La *Figura 3.7.* muestra un total de 26 mensajes emitidos por el ACARS, 24 de ellos se enviaron entre las 02:10 UTC y las 02:14 UTC, es decir durante los últimos 4 minutos de vuelo. Fuera de este período de tiempo, sobre las 22:45 UTC, se emitieron únicamente dos mensajes de mantenimiento que estaban relacionados con la configuración de los sanitarios, cuya implicación en el accidente queda descartada por tratarse de una avería menor. Los dos mensajes han sido marcados en la *Figura 3.7.* con color naranja. Utilizando como referencia la hora en la que se emitió el primero de los 24 mensajes de alertas y fallas, se puede confirmar que la aeronave comenzó a padecer complicaciones en el interior del MCS, pudiendo descartar así también que presentase algún tipo de falla mecánica antes de penetrarlo. Motivo por el que se puede considerar muy probablemente que las condiciones meteorológicas adversas, fueron las responsables del mal funcionamiento de los siguientes sistemas: del piloto automático, del TCAS, del sistema de aire acondicionado, del ADIRS y de los computadores primarios y secundarios de los controles de vuelo.

| A I R F R A N C E A C A R S  |  |              |                                    | 01/06/                    |                 |
|--|--|--------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Liste Des Evenements ACARS   |  |              |                                    | 16:30                     |                 |
| 28 / 256   |  |              |                                    |                           |                 |
| MATERIEL : AV FGZCP REG  |  |              |                                    | DATES du: 120509 au: 0106 |                 |
| 770T ENT : ATA/PH:   |  |              |                                    | (TA: A330)                |                 |
| ATA/PH   | Typ                                    | Sel          | Libelle succinct du message        | Date                      | Novo            |
| 27 23/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 272302006F/CTL BUD TSV LIM FAULT   | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 22 83/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 228301106FLAG ON F/O PFD           | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 22 83/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 2283001006FLAG ON CAPT PFD         | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 34 43/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 344300506NAV TCAS FAULT            | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 22 30/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 223002506AUTO FLT A/THR OFF        | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 22 83/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 228301206FLAG ON F/O PFD           | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 22 83/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 228300206FLAG ON CAPT PFD          | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 27 31/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 273100506F/CTL ALTN LAV            | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 22 62/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 226201006AUTO FLT                  | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 22 10/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 221002006AUTO FLT AP OFF           | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 38 31/06   | FLR                                    | FR0905312245 | 383100006VSC X2, ...,LAV CONF      | 09-05-31 AF 447           |                 |
| 38 31/06   | WEN                                    | WN0905312245 | 383100506MAINTENANCE STATUS        | 09-05-31 AF 447           |                 |
| /  |  |              |                                    |                           | 09-05-31 AF 444 |
| /  | PFR DEN013/ 090531201300MAY3107522003P |              |                                    |                           | 09-05-31 AF 444 |
| PF2/3=Fin PF4/5=Pag.avion PF6/7/8/9=Pagination X=consult. PF12=Edition |  |              |                                    |                           |                 |
| *****  |  |              |                                    |                           |                 |
| A I R F R A N C E A C A R S  |  |              |                                    | 01/06/                    |                 |
| Liste Des Evenements ACARS   |  |              |                                    | 16:30                     |                 |
| 29 / 256   |  |              |                                    |                           |                 |
| MATERIEL : AV FGZCP REG  |  |              |                                    | DATES du: 120509 au: 0106 |                 |
| 770T ENT : ATA/PH:   |  |              |                                    | (TA: A330)                |                 |
| ATA/PH   | Typ                                    | Sel          | Libelle succinct du message        | Date                      | Novo            |
| 21 31/06   | WEN                                    | WN0906010214 | 213100206ADVISOBY                  | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 22 83/06   | FLR                                    | FR0906010213 | 22833406AFS 1, ...,FMCDC11C        | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 34 10/06   | WEN                                    | WN0906010214 | 341036006MAINTENANCE STATUS        | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 27 30/06   | WEN                                    | WN0906010213 | 273004006F/ CTL SEC 1 FAULT        | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 27 30/06   | WEN                                    | WN0906010213 | 273002506F/CTL PRIM 1 FAULT        | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 34 12/06   | FLR                                    | FR0906010211 | 34123406AFS 1,EFCS1A,1B,1C,2,3,... | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 34 12/06   | FLR                                    | FR0906010211 | 34120006ISIS 1, ...,ISIS(22FN      | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 34 10/06   | WEN                                    | WN0906010212 | 341040006NAV ADP DISAGREE          | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 34 12/06   | WEN                                    | WN0906010211 | 341201106FLAG ON F/O PFD           | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 34 12/06   | WEN                                    | WN0906010211 | 341200106FLAG ON CAPT PFD          | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 27 33/06   | FLR                                    | FR0906010210 | 27333406EFCS1 X2,EFCS2X, ...,FC    | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 24 11/06   | FLR                                    | FR0906010210 | 24111506EFCS2 1,EFCS1,AFS,...      | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 27 30/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 273045006MAINTENANCE STATUS        | 09-06-01 AF 447           |                 |
| 27 30/06   | WEN                                    | WN0906010210 | 273045506MAINTENANCE STATUS        | 09-06-01 AF 447           |                 |
| PF2/3=Fin PF4/5=Pag.avion PF6/7/8/9=Pagination X=consult. PF12=Edition |  |              |                                    |                           |                 |
| *****  |  |              |                                    |                           |                 |

**Figura 3.7.** Mensajes de alertas y fallas emitidos por el ACARS durante los últimos 4 min de vuelo [28]



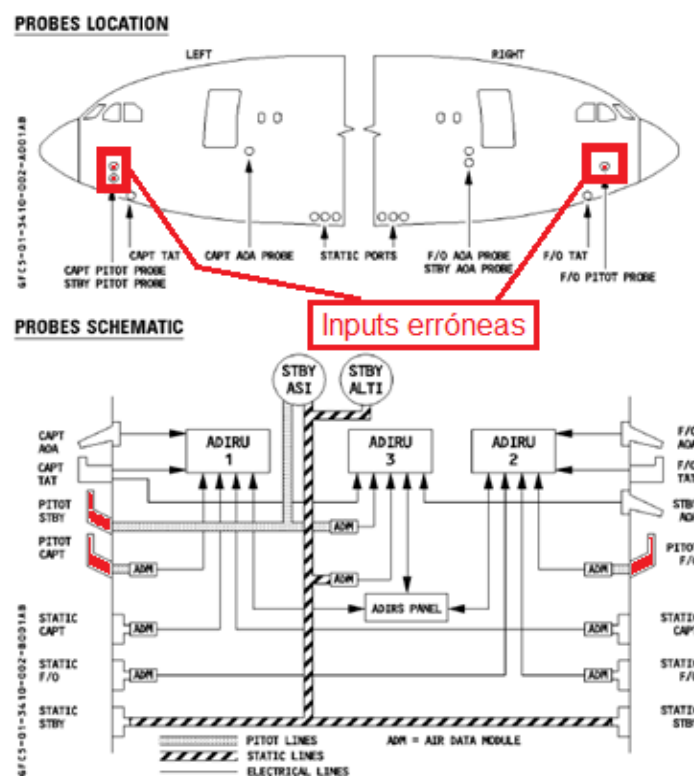
### 3.3.2.1. ¿Fallaron realmente todos los componentes de los sistemas expuestos en el reporte o se produjo un fallo en cascada?

La opción más plausible es que se produjese un fallo en cascada, puesto que la probabilidad de que fallasen los componentes de tantos sistemas de forma unánime, es muy baja.

Para entender el por qué se inició esta cadena de mensajes de alerta y errores, es menester encontrar, cuál fue el primer sistema en fallar. Tras examinar los mensajes del ACARS, se ha encontrado sospechosa la anomalía presentada en el funcionamiento de tres de los componentes del Air Data & Reference System (ADIRS), puesto que el ADIRS es un sistema que presenta una alta tolerancia a fallas y opera independientemente del resto de sistemas de la aeronave. Este hecho induce a pensar que el fallo principal se produjo en el ADIRS, y se propagó al resto de sistemas vinculados a este. Teóricamente fallaron los siguientes componentes del ADIRS: el Air Data Reference (ADR), el Inertial Reference (IR), y el Integrated Standby Instrument System (ISIS), (ver mensajes de alerta y de falla marcados con azul, *Figura 3.7.*).

### 3.3.2.2. Estudio del funcionamiento del sistema ADIRS

A continuación mediante el análisis de la arquitectura del sistema ADIRS, se determinará si estos componentes fallaron realmente y cómo se propagó el error al resto de sistemas.



**Figura 3.8.** Arquitectura del sistema ADIRS del A330-203 [25]

En la *Figura 3.8.* se presenta la arquitectura del sistema ADIRS del A330-203. Se trata de un sistema tolerante a fallas compuesto por 3 Air Data & Inertial Reference Units (ADIRUs). Por convención el ADIRU 1 suele estar asignado a los instrumentos del piloto y el 2 a los del copiloto, permaneciendo el ADIRU 3 como back-up. Cada ADIRU está formado por dos unidades, el ADR y el IR.

El ADR es un procesador que calcula la CAS, la SAT, la TAS, la altitud barométrica, el M y el ángulo de ataque, a partir de los parámetros de entrada proporcionados por las sondas de pitot, las tomas de estática, el sensor de temperatura total del aire (TAT) y el sensor de ángulo de ataque (AOA). Los datos de la presión estática y de la total transmitidos por las sondas, se digitalizan primero por medio de un Air Data Module (ADM), y se envían posteriormente a través del bus ARINC 429 a las unidades ADR de los 3 ADIRUs, mientras que la TAT y el AOA viajan directamente por el bus ARINC.

El IR al igual que el ADR, es un procesador que proporciona a partir de los parámetros obtenidos de 2 receptores GPS, 3 giróscopos y 3 acelerómetros inerciales, junto con la TAS y la altitud barométrica computadas por el ADR, información sobre la actitud de la aeronave, el Flight Path vector, la ruta, el rumbo magnético, la aceleración, la velocidad angular, la velocidad vertical, la Ground Speed y la posición de la aeronave.

En resumen, el ADIRS proporciona a los pilotos tanto información de referencia inercial como de datos del aire, es decir, parámetros imprescindibles para la navegación de la aeronave. Es por este motivo que a pesar de su alta redundancia, dispone de un sistema de respaldo, el ISIS. El ISIS es un sistema totalmente independiente que utiliza como parámetros de entrada los outputs de la sonda de pitot STBY y de las tomas de estática STBY, proporcionando la altitud barométrica y la Indicated Airspeed, sin la necesidad de que un procesador ADIRU y los ADMs intervengan en el cálculo.

Tras conocer la arquitectura y el funcionamiento del sistema ADIRS, se puede afirmar que el mal funcionamiento del sistema de respaldo ISIS, marca un punto de inflexión en este análisis, puesto que permite descartar que los 3 ADRs, los 8 ADMs y los buses fallasen, dejando como sospechosas del mal funcionamiento a las 3 sondas de pitot (ver *Figura 3.8.* marcadas con rojo).

Esta hipótesis justificaría también, el mensaje del ACARS en el que se declaran inválidos los datos proporcionados por los 3 ADRs, puesto que si las 3 sondas de pitot se vieron comprometidas, los datos que se entregaron a los procesadores pudieron diferir mucho de los reales, en función de cómo estuviese afectada cada una de las tres sondas. Los inputs erróneos provocaron que los tres ADRs proporcionasen valores distintos para las mismas outputs de cada uno de ellos, generando incongruencias entre los resultados e imposibilitando determinar qué parámetros se ceñían a la realidad. Error que se propagó a los IRS, puesto que para sus cálculos utilizan tanto la TAS como la altitud barométrica proporcionada por los ADRs, razón por la que también fueron declarados no válidos para continuar el vuelo de forma segura. Por lo tanto, el fallo no se encontraba en los procesadores o el ISIS, sino en las sondas Pitot que proporcionaban inputs erróneos al sistema.

### 3.3.2.3. ¿Por qué fallaron las sondas pitot?

El fallo de las sondas se debió probablemente a la exposición de la aeronave entre las 02:00 UTC y las 02:10 UTC a la alta concentración de cristales de hielo en la región estratiforme del MCS, que ocasionaron la obstrucción de las 3 sondas de pitot.

#### 3.3.2.3.1. ¿Cumplían las sondas con los requerimientos de anti-icing?

La respuesta es sí. Las sondas cumplían con la certificación estándar JAR 25.1419 de protección ante la presencia de engelamiento por agua en subfusión. Tal y como se muestra en el apartado A3.10. del anexo 3, operando en el límite de su correcto funcionamiento. A partir de esta información y al no emitirse ningún mensaje de alerta o falla y estar conectada, se especula que la Pitot Probe Heating, es decir la protección del tubo de pitot que no es más que una resistencia que se calienta, funcionó correctamente. Lo que debió suceder es que la concentración de cristales de hielo que ingirieron los tubos de pitot durante algunos períodos de tiempo, fue superior a la velocidad de descongelación, razón por la que las sondas se congelaron y permanecieron congeladas.

¿Por qué ignoraron los pilotos la posibilidad de que las sondas se hubiesen obstruido por cristales de hielo, tras declarar como no válidas las indicaciones de velocidad?

Existen tres posibles razones:

- 1) Ninguno de los mensajes del ACARS presenta una relación directa con fallos de sistemas anti-icing.
- 2) La reflectividad de los cristales de hielo es mucho menor que la de cualquier otro hidrometeoro, siendo por lo tanto más difíciles de detectar con el WXR (ver apartado A3.11 del anexo 3).
- 3) La no existencia de referencias visuales de engelamiento sobre las superficies de la aeronave ni en el ICE DETECTOR, debido a la baja adherencia de los cristales de hielo, no daba motivos para pensar en la posibilidad de engelamiento.



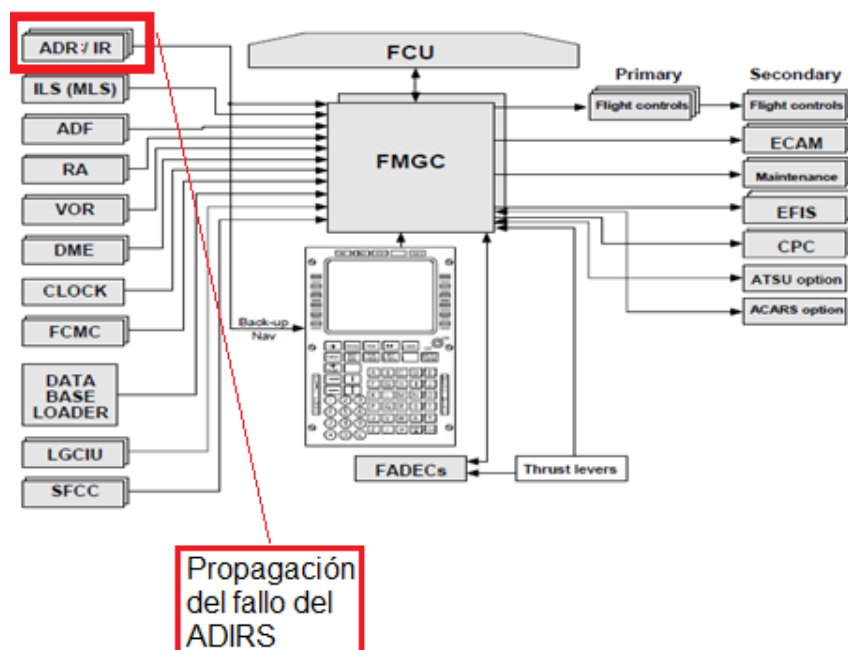
**Figura 3.9.** Sonda de pitot THALES C16195AA (con protecciones) [14]

El AF447 estaba equipado con tres sondas Pitot C16195AA (ver *Figura 3.9.*), fabricadas por THALES. Analizando los incidentes y accidentes sufridos por aeronaves de Airbus entre 2003 y 2009, en los que aparecía presente como mínimo la falla de dos de los tres tubos de pitot, se observa que 26 de los 36 que sucedieron estaban equipados con las THALES C16195AA, las mismas que portaba el AF447. Argumento por el que no es tan descabellado afirmar su mal funcionamiento.

Tras analizar las sondas de Pitot, se concluye que los criterios de certificación de la JAR.25.1419 no son representativos de las condiciones meteorológicas reales que se plantean a grandes altitudes, un ejemplo de ello es la temperatura. Si la temperatura en pleno vuelo no hubiese sido, de ISA +14, las sondas Pitot hubiesen estado trabajando claramente fuera de sus márgenes de seguridad, tal y como se muestra en el apartado A3.10. del anexo 3, justificándose así, la necesidad de modificar los criterios de certificación.

Adicionalmente es necesario mencionar que pese a cumplir con la certificación JAR.25.1419, y operando las sondas de Pitot justo en los límites de seguridad, estas padecieron engelamiento, motivo por el que se considera necesario que se haga un estudio de la estructura de la nubosidad tanto de gran desarrollo vertical como de la cirriforme en la región tropical. De modo que se conozca exactamente el tamaño de los cristales de hielo y la concentración de ellos en los altos niveles de la troposfera. El motivo de ello es que este estudio meteorológico servirá para asentar las bases de los nuevos criterios de certificación, con el objetivo de poder evitar futuros accidentes.

#### 3.3.2.4. ¿Propagación del error al resto de sistemas vinculados e influencia sobre las decisiones de los pilotos?



**Figura 3.10.** Arquitectura del sistema del piloto automático del A330-203 [25]

¿La desconexión del AP/FD y el A/THR estuvo vinculada con la pérdida del ADIRS?

Si se examina la arquitectura del sistema del piloto automático de la *Figura 3.10.*, se observa que los dos Flight Management Guidance Envelope Computers (FMGECs), es decir los procesadores que se encargan de la gestión de estas tres funciones, utilizan parámetros proporcionados por el ADIRS. Los dos FMGECs monitorean los outputs tanto de los tres ADRs como de los tres IRs, buscando desviaciones entre sus valores. Para que un FMGEC sea declarado válido es necesario que como mínimo los parámetros proporcionados por 2 IR y 2 ADR sean considerados correctos, por lo tanto que no disten mucho entre sí. De lo contrario, el piloto automático considera que no dispone de información consistente para seguir operando el vuelo de forma segura, y procede a su desconexión. Tras ello también se desconecta automáticamente la función A/THR, puesto que la información que se transmitiría a los FADECs no sería correcta. Activándose finalmente el Thrust Lock, protocolo de emergencia que bloquea el valor del empuje del motor justo antes de la desconexión del A/THR, para evitar que la aeronave entre en pérdida por una manipulación errónea de su velocidad. A todo esto hay que sumar la desaparición de los datos del Flight Director en el Primary Flight Display (PFD), mostrándose una bandera roja en el PFD (ver mensajes marcados con fucsia, *Figura 3.8.*).

Adicionalmente también se vieron otros sistemas afectados, como el TCAS (ver mensajes marcados con verde, *Figura 3.8.*), un procesador del Primary Flight Controls Computer (PRIM) y uno del Secondary Flight Controls Computer (SEC). En esta situación la aeronave pasa a ley alternativa 2B, cuyo control lateral pasa a ley directa, es decir roll controlado directamente por inputs del piloto, perdiéndose el rudder limiter, y en cuanto al control longitudinal, el avión se queda sin protecciones de alta y baja velocidad (ver mensajes marcados con amarillo, *Figura 3.8.*).

La carga adicional de trabajo por la desconexión del piloto automático y el estrés de encontrarse en el interior del MCS, provocaron que el PF levantase el morro de la aeronave, tratando de huir de la zona ligera de turbulencias, hacia cielo claro con la protección del Alpha Floor desconectada y los motores situados en TOGA, procedimiento que se utiliza para recuperar la pérdida en aeronaves que se encuentran a bajas altitudes. Hecho que denota y demuestra la falta de experiencia de la tripulación. La focalización en las referencias de velocidad falsas, el ECAM y el control de alabeo generaron sobre el piloto lo que se conoce en psicología como efecto túnel, provocando que ignorase lo que ocurría a su alrededor. Hecho que explicaría que ignorase la alarma de pérdida que sonó hasta 75 veces. La ergonomía de la aeronave también jugó un papel crucial, puesto que la alarma de Airbus está programada para dejar de sonar por debajo de 60 kts, para prevenir señales falsas, por lo que los avisos de pérdida aparecían y desaparecían, aumentando la confusión de la tripulación, que no consiguió recuperar la pérdida de la aeronave.

## CONCLUSIONES

Si se aplica una regresión lineal a los datos de la última década del estudio del *Capítulo 2*, se pronostica un incremento a medio plazo en el número de accidentes aéreos sea cual sea su causa, en 3,7 accidentes anuales, y por causa meteorológica en 1,9, representando por lo tanto los incidentes y accidentes por meteorología adversa el 51,3% del incremento anual esperado para los próximos años. Teniendo en cuenta otras variables como el crecimiento anual del tráfico aéreo de la *Figura 2.2.*, y las consecuencias pronosticadas a raíz del cambio climático por la “Universidad de Reading”, se puede asegurar que tanto el número de accidentes aéreos, como el porcentaje de ellos por causa meteorológica será superior al pronosticado por medio del método de serie temporal. Al aplicar una regresión exponencial, al número de operaciones aéreas anual de todo el período, se observa que en 2015, el tráfico aéreo será de 45 millones de operaciones anuales, duplicándose así los 22 millones alcanzados en 2004. A partir de todo lo expuesto se especula, que a corto plazo, el número de accidentes aéreos crecerá por encima de la media esperada, pero que los incidentes o accidentes por meteorología adversa, se ajustarán a los patrones esperados. Mientras que a largo plazo, se incrementará el número accidentes aéreos por meteorología adversa, especialmente durante la fase crucero, debido a las fuertes turbulencias que obligarán a los fabricantes a aumentar la resistencia de la estructura de las aeronaves, y su frecuencia de mantenimiento, también surgirá la necesidad de buscar nuevas rutas alternativas.

Los resultados expuestos a largo plazo, no tienen porqué ser del todo determinantes, es necesario tener en cuenta que pese a incrementarse el tráfico aéreo en la década de los 90, la media de accidentes aéreos descendió en 3,4 accidentes en general anualmente, y por causa meteorológica en 0,4. Mientras que en la década posterior y anterior aumentaron. Razón, por la que no se puede asegurar el pronóstico a largo plazo.

Aún así, los efectos de la erupción del Pinatubo permiten apoyar las conjeturas realizadas sobre el cambio climático por la “University of Reading”, las emisiones de dióxido de carbono posiblemente alteren la atmosfera aumentando la intensidad y el número de turbulencias, de modo que la probabilidad de que el pronóstico a largo plazo sea erróneo disminuye considerablemente.

Mirando hacia el pasado, los accidentes en los que han contribuido las causas meteorológicas, representan el 40,7% de los accidentes analizados, cuyos ocupantes encarnan el 48,7% del total de los accidentados entre 1967 y 2010.

Actualmente, la fase de vuelo con mayor mortalidad es la aproximación con un 61,7%. En las fases de tierra tanto la visibilidad, la niebla y la lluvia son los fenómenos meteorológicos que tienen mayor influencia sobre las aeronaves oscilando desde el 26,3% al 83,3%, desde la fase de descenso hasta encontrarse sobre la pista. En cambio en la fase crucero los fenómenos reinantes y responsables de accidentes aéreos son las turbulencias, las CATs, y las tormentas con un 74,5%. Verificándose así, que los fenómenos meteorológicos varían con la altitud. Adicionalmente se concluye, que tanto la zona 2 como la 3, están sujetas o influenciadas por la estación del año, tanto en invierno como en otoño.

En el accidente del AF447 se confirma lo expuesto en el análisis estadístico del *Capítulo 2.*, es decir un accidente casi nunca suele estar causado por un único evento, sino por una sucesión de eventos encadenados. La entrada en pérdida de la aeronave fue el resultado de la presencia de condiciones meteorológicas adversas, de fallas mecánicas, de la ergonomía de la aeronave y del factor humano.

Las condiciones meteorológicas tal y como se han descrito en este capítulo, fueron las que se suelen presentar en el mes de junio a lo largo de la ITCZ. El engelamiento de los tubos de Pitot en el interior de la región estratiforme del MCS, provocó tanto la pérdida de referencias inerciales como la de los datos del aire en cabina, dejando por lo tanto que la tripulación volase a ciegas. Este fallo, produjo un fallo en cascada, provocando que se perdiera el sistema del piloto automático, un computador primario de los controles de vuelo (PRIM), un computador secundario de los controles de vuelo (SEC), el TCAS y el sistema de aire acondicionado, pasando la aeronave a ley alternativa 2B.

No se puede responsabilizar únicamente a la meteorología de la falla de estos sistemas, puesto que en el *Capítulo 3.* se ha demostrado también, como los criterios de certificación JAR.25.1419 de las sondas Pitot, no se ciñen a la realidad para vuelos de gran altitud, y por lo tanto no son válidos.

Todas estas complicaciones incrementaron la carga de trabajo de la tripulación. Pese a ello, la aeronave podía haber seguido operando de forma segura, si la tripulación hubiese aplicado el procedimiento de inconsistencia de velocidades del manual del A330. La no aplicación de este procedimiento indica que la tripulación nunca supo lo que sucedía realmente.

La inexperiencia de los pilotos acompañada por la desorientación causada por la pérdida de los sistemas de referencia y de datos del aire, la nocturnidad, la envolvente del MCS, junto con las indicaciones erráticas de los instrumentos, la ausencia de un indicador de ángulo de ataque y la eliminación de las protecciones de entrada en pérdida, dieron como resultado un sobremando en alabeo y un brusco comando de morro arriba por parte del copiloto, que produjo la pérdida de la aeronave situando el ángulo de ataque por encima de los 35° mientras ascendía.

Tras esto, se puede afirmar que la meteorología jugó un importante rol en el accidente del Air France 447, provocando fallas en los sistemas de la aeronave e influyendo sobre las decisiones erróneas de la tripulación no preparada para este tipo situaciones. Considerándose finalmente necesario tras este análisis un mejor entrenamiento de la tripulación en caso de pérdida en alta velocidad y una modificación de los criterios de certificación de las sondas Pitot.

Razón por la que ha quedado corroborado, que pese a disponer de aeronaves más modernas y preparadas, parece que la meteorología adquiere y adquirirá en el futuro, un rol todavía más importante en el desarrollo de las operaciones aéreas, es decir las aeronaves dependerán cada vez más del entorno en el que operan. Es decir, el estudio y el conocimiento de la atmosfera, pasará a ser más importante que la investigación en futuras tecnologías para las aeronaves, puesto que estas tendrán que ser modificadas para operar en el nuevo entorno [1]

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS DE CONSULTA

- [1] FAA Staff, *AVIATION WEATHER, For Pilots and Flight Operations Personnel*, Revisada ed., Independent Publishing Group, Ed.: Ilustrada, 1975.
- [2] R. B. Underdown and John Standen, *GROUND STUDIES FOR PILOTS, METEOROLOGY*, 3rd ed., Blackwell Science, Ed., 2003.
- [3] A. Heinrich et al., *Aircraft Icing Handbook.*, Final rept. Feb 1985-Mar 1991, vol. 1.
- [4] M. Carmen Moreno García and M. Ángel Gil Aguinaliu, "*Análisis de la siniestralidad aérea por causa meteorológica (1970-1999)*", 2003.
- [5] Robert A. Houze, Jr., *Cloud Dynamics*. San Diego: ACADEMIC PRESS, 1993.
- [6] Doviak, Richard J., Mazur, Vladislav, Zrnič, Dusan, and Mahapatra, Pravas R., *Aviation Weather Surveillance Systems*. Exeter: The Institution of Electrical Engineers, 1999.
- [7] Ledesma, Manuel and Baleriola, Gabriel, *Meteorología Aplicada a la Aviación*. Paracuellos de Jarama: Parainfo, 2003.
- [8] Vickers, Glenn, Buzza, Sandra, Schmidt, Dave, and Mullock, John, *The Weather of the Canadian Prairies.*: Canada, NAV, 2005.
- [9] Lankford, Terry T., *Aviation Weather Handbook*, McGRAW-HILL Professional, Ed., 2000.
- [11] Conway, Eric D, *An introduction to satellite image interpretation*. Maryland: Baltimore Johns Hopkins University Press, 1997.
- [13] PHILLIPS, VAUGHAN T. J. and , DONNER, LEO J., "Cloud microphysics, radiation and vertical velocities in two- and three-dimensional simulations of deep convection," *Princeton University*, 2006.

### ARTÍCULOS, PROYECTOS y TESIS

- [12] van den Heever, Sue, , Kenta, Suzuki, , Matt, Rogers, , Haynes, John, and , Stephens, Graeme, "Tropical Convection Characteristics Comparisons between Large-Domain CRM Simulations and CloudSat Observations," *Colorado State University*, 2006.



- [14] BEA, "Final report on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris," 2012.
- [16] W. S. Pike, "UK Weather-Related Civil Aircraft Accidents 1977–1986," *Royal Meteorological Society* 1988, 2012.
- [18] Milosowski, Goranco, "Improvement of Aircraft Accident Investigation Through Expert Systems," 2008.
- [20] Woodfield, A.A. and Woods, J.F., "Worldwide Experience of Wind Shear during 1981-1982," *Royal Aircraft Establishment Bedford (England)*, 1983.
- [21] Lohmann, U, Kärcher, B, and Timmreck. C, "Impact of the Mount Pinatubo eruption on cirrus clouds formed by homogeneous freezing in the ECHAM4 GCM," *Wessling*, 2003.
- [22] McCormick, M. Patrick, Thomason, Larry W., and Trepte Charles R., "Atmospheric effects of the Mt Pinatubo eruption," *Virginia*, 1995.
- [23] Plazas Monroy, Juan Pablo, "Los refrigerantes y el medio ambiente," *Barcelona*, 2012.
- [24] Williams, Paul D. and Joshi, Manoj M., "Fasten your seatbelts: climate change doubles turbulence risk to aircraft," *Nature Climate Change, University of Reading*, 2013.
- [26] Kaplan, Michael L. and Vollmer, David R., "The Meteorological Environment Surrounding The Air France#447 Disaster," *Turbulence and Windshear*, 2010.
- [27] Bottyán, Zsolt and Palik, Mátyás, "The accident of AF-447 flight – analysis and reconstruction of weather situation along the flight path ,", *Miklós Zrínyi National Defence University, Department of Air Traffic Controller and Pilot's Training, Szolnok, Hungary*, 2010.
- [28] BEA, "Interim Report on the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris," 2009.
- [33] Robock, Alan, "Introduction: Mount Pinatubo as a Test of Climate Feedback Mechanisms," *Department of Environmental Sciences*, 2003.
- [35] Gausz, Tamás and Gausz Zsanna, "Aquaplaning Problems in the Aircraft Wet Runway Motion Process," *Department of Aircraft and Ships Budapest University of technology and Economics*, 2008.
- [37] Cavcar, Mustafa, "The International Standard Atmosphere (ISA),"

*Anadolu University*, 2011.

- [39] Nil Angl  Padr , "Influ ncia del terreny en les condicions de estabilitat atmosf rica. Aplicació a l' rea de l'aeroport de Sabadell," *Escola Polit cnica Superior de Castelldefels*, 2006.
- [56] GAO, TAO, YU, XIAO, MA, QINGXIA, LI, HAIYING, and SI YAOBING, "CLIMATOLOGY AND TRENDS OF THE TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF SANDSTORMS IN INNER MONGOLIA," *Inner Mongolia Meteorological Institute, Hohhot, P.R. of China, Inner Mongolia Computer*, 2002.
- [61] David, Pino, UPC, "Visibility," *Departamento de Física Aplicada* , 2009.
- [63] Rafael Posada Navia-Osorio, "Caracterización de las ondas de montaña en situaciones de precipitación invernal," *Universidad de León*, 2012.

## DOCUMENTOS

- [10] Yuchechen, Adrián E., Bischoff, Susana A., and Canziani, Pablo O., "Climatología de tropopausas térmicas simples y dobles en el sur de sudamérica e implicancias para el intercambio estrat sfera–troposfera de la región," *Actas XXIV Reuni n Científica de la AAGG, Climatolog a y Meteorología* , 2009.
- [15] University of Wyoming, "Uppair, sounding SBFN," 2009.
- [17] Boeing, "Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959 - 2008 ," *Aviation Safety, Boeing Commercial Airplanes*, 2009.
- [19] Kulesa, Gloria, "Weather and Aviation: How Does Weather Affect the Safety and Operations of Airports and Aviation, and How Does FAA Work to Manage Weather-related Effects?," *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation*, 2003.
- [25] Airbus, "Flight Crew Operating Manual," *Systems Description*, 2004.
- [29] Gilbert, Ian, "Weather-Radar Operating Principles and Interpretation," *Airborne Weather Radar Interpretation*, 2005.
- [30] Vazquez, Tim, "Air France Flight 447: Detailed Meteorological Analysis," *Weather Graphics*, 2011.
- [31] Tertsch, Hernan and Pablo de Sandoval, "LA ERA DEL MIEDO TOTAL, La amenaza terrorista una angustia desconocida para cientos de millones de personas," *El País*, 2002.
- [32] Javier del Pino, "35 países no han homologado su navegación aérea al

- 'efecto 2000'," *El País*, 1999.
- [34] JAA, "Subparte E-Operaciones Todo Tiempo," *Mínimos de Operación de Aeródromo-General*, 2008.
- [36] CEFA, "Despachante Operativo de Aeronaves," *Curso CEFA 2004/2005*, 2004.
- [38] ICAO, "Aircraft Accident and Incident Investigation," *International Standards And Recommended Practices*, 2001.
- [40] Rincón, Melero Carlos and AEMET, "Tema 8. Englamiento," *Meteorología Aeronáutica Parte I*, 2010.
- [41] Alberto, Flores Gustavo, "Englamiento, un enemigo oculto entre las nubes," *J.I.A.A.C, Departamento Meteorología Aeronáutica de la DGSMN*, 2011.
- [42] Buck, Robert, "Aircraft Icing," *AOPA, Air Safety Foundation*, 2008.
- [44] FASE PILOTO PRIVADO PPL, "Peligros en el vuelo y bajas y Anticiclones," *Clase 06*, 2011.
- [45] Parra, Monroy, Pilar, "Ilusiones en Vuelo," *SECRETARIA DE SEGURIDAD AÉREA GRUPO PREVENCIÓN DE ACCIDENTES*, 2007.
- [50] ALAR TOOL KIT, "BRIEFING NOTES," 5. *PREVENCIÓN DE PELIGROS DE LA APROXIMACIÓN*, 3. *ILUSIONES VISUALES*, 2001.
- [54] Zitnik, Juan, "METEOROLOGÍA," *Manual de vuelo del PIPER PA-11*, 2011.
- [55] APS, "Relationship Between Visibility and Snowfall Intensity," *TP 14151E*, 2003.
- [58] Rincon, Melero, Carlos, "TEMA 10. TURBULENCIAS," *METEOROLOGÍA AERONÁUTICA PARTE I*, AEMET, 2010.
- [60] Met Office College - Course Notes, "Aviation Hazards," *HMSO (1994) Handbook of Aviation Meteorology*, 2001.
- [62] ICAO, "Telecomunicaciones Aeronáuticas. Anexo 10 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional," *Normas y Métodos Recomendados Internacionales*, 1996.

#### URLs CONSULTADAS

- [46] (2011) Yipi-Yeah, buscando un rumbo. [Online]. HYPERLINK <http://yipi-yeah.blogspot.com.es/>

- [47] (2011) Coordinadora en Defensa de los Bosques del Túria, “La Contaminación lumínica en el Parque Natural del Turia” en Gandia. [Online].HYPERLINK <http://coordinadorabosquesturia.blogspot.com.es/>
- [48] Sokolov, Nikolay. (2009) ATR72 Anti Icing Systems. [Online]. HYPERLINK <http://www.skybrary.aero/>
- [49] Rivas, Carlos. (2001) Buenos Aires Virtual Air Center, Centro Aeronáutico para Simuladores de Vuelo, Factores que afectan a la Vs. [Online]. HYPERLINK <http://bsas-vac.tripod.com/>
- [51] Aeropuerto Internacional de Denver. (2012) Loco por Aviones. [Online]. HYPERLINK <http://locoporaviones.blogspot.com.es/>
- [52] W., Paddock, Carolyn. (2013) IN-FLIGHT INSIDER, When Mother Nature Strikes - Easy Travel Tips to Live. [Online]. HYPERLINK <http://inflightinsider.com/>
- [53] Kaptan, Emekli and A.Akin Diler. Charlie Data Center, Low Level Turbulence. [Online]. HYPERLINK <http://www.candiler.com.tr/>
- [57] LVD. (2006) WEBIslam, El Mare Nostrum pronosticará las tormentas de arena, La Vanguardia. [Online]. HYPERLINK <http://www.webislam.com/>
- [59] Rey, Hernández, Emilio. (2012) 20 minutos, Ondas de montaña sobre Madrid. [Online]. HYPERLINK <http://blogs.20minutos.es/>
- [64] SOS, Emergencias. (2011) El Accidentes Áereo. [Online]. HYPERLINK <http://www.sos-emergencias.es/document/accaero/IMPACTO.htm>



# ANEXOS

**TÍTULO DEL PFC:** WRF simulation of the atmospheric conditions in some aircraft accidents

**TITULACIÓN:** Ingeniería Técnica Aeronáutica, especialidad Aeronavegación




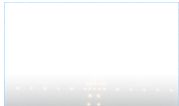
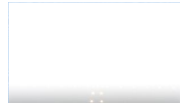
**AUTOR:** Miguel Lozano Sánchez

**DIRECTOR:** Jordi Mazón Bueso

**DATA:** 26 de julio de 2013

## ANEXO 1. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA SOBRE LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS QUE AFECTAN A LA AVIACIÓN

**Tabla A1.1.** Categoría de ILS necesaria en pista en función de la RVR<sup>9</sup> [62]

|   |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| Aprox. Visual   | CAT I   | CAT II  | CAT IIIA   | CAT IIIB  |
| Sin DH  | 200 ft < DH < 300 ft  | 100 ft < DH < 200 ft  | DH < 100 ft ó sin DH   | DH < 50 ft ó sin DH   |
| RVR >800 m  | 550 m < RVR < 800 m   | 300 m < RVR < 450 m   | RVR > 200 m  | 75 m < RVR < 200 m  |

**Tabla A1.2.** Probabilidad e intensidad de la formación de hielo bajo diferentes tipos de nubes [60].

| Cloud type | Probability of icing | Intensity of icing                      | Water content gm <sup>-3</sup> |
|------------|----------------------|---|--------------------------------|
| CB, CU, NS | High                 | May be severe                           | 0.2– 4.0                       |
| SC, AC     | Moderate             | Rarely more than moderate <sup>10</sup> | 0.1– 0.5                       |
| AS         | Low                  | Moderate or light                       | 0.1– 0.3                       |
| ST         | Low                  | Light                                   | 0.1– 0.5                       |

**Tabla A1.3.** Corrientes verticales típicas, debida a la convección [60]

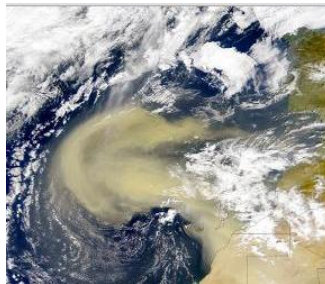
| Regime               | Vertical Velocity (ms <sup>-1</sup> ) | Turbulence      |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Small/medium Cumulus | 1–3                                   | Light           |
| Towering cumulus     | 3–10                                  | Moderate        |
| Cumulonimbus         | 10–25                                 | Severe          |
| Severe storm (USA)   | 20–100                                | Extreme         |
| Dry thermals         | 1–5                                   | Light/Moderate  |
| Down-draughts        | 3–15                                  | Moderate/Severe |
| Down-draughts (USA)  | up to 40                              | Extreme         |

<sup>9</sup> Las imágenes utilizadas en la Tabla 1.1. no ilustran las distintas categorías de ILS, son simplemente una referencia visual de la RVR que se encontraría en la fase de aproximación un piloto operando en IFR, bajo condiciones de CAT I, II, IIIA y IIIB comparadas con las de un piloto operando en Visual Flight Rules (VFR).

<sup>10</sup> Los estratocúmulos (Sc) a veces pueden generar un engelamiento fuerte inesperado, sobre todo cuando se ubican, justo debajo de una inversión térmica sobre el mar.

**Tabla A1.4.** Visibilidad en función del tipo de nube [61]

| Cloud Type                         | Visibility  |
|------------------------------------|-------------|
| Cirrus, Cirrostratus, Cirrocumulus | > 1000 m    |
| Altostratus, Altopumulus           | 20 – 1000 m |
| Nimbostratus                       | 10 – 20 m   |
| Cumulus, Cumulonimbus              | < 10 – 20 m |
| Stratocumulus, Stratus             | 10 – 30 m   |

**Figura A1.1.** Operaciones aéreas con pistas contaminadas por nieve, Aeropuerto de Denver [51] y [52]**Figura A1.2.** Imagen tomada desde satélite de una tormenta de arena sahariana sobre el Océano Atlántico [57]



## ANEXO 2. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA AL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ACCIDENTES AÉREOS OCURRIDOS ENTRE 1967 Y 2010

### A2.1. Listado de accidentes aéreos causados por meteorología adversa

**Tabla A2.1.** Accidentes aéreos causados por CAT o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno

| Aeronave       | Clase | Fecha      | Lugar                    | Zona Climática | Fase de vuelo | Daños       | Accidentados | Fallecidos |
|----------------|-------|------------|--------------------------|----------------|---------------|-------------|--------------|------------|
| EMB170-100 SE  | B     | 03/04/2010 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 30           | 0          |
| A319-100       | C     | 11/03/2010 | U.S.A.                   | Zona 2         | DESCENT       | NONE        | 117          | 0          |
| B777-200       | E     | 18/11/2009 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 200          | 0          |
| B777-200       | E     | 05/03/2009 | JAPAN                    | Zona 2         | DESCENT       | NONE        | 277          | 0          |
| DC10-30        | E     | 19/05/2008 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 162          | 0          |
| B737-300       | C     | 10/02/2008 | JAPAN                    | Zona 2         | DESCENT       | NONE        | 73           | 0          |
| B767-300       | D     | 22/01/2006 | JAPAN                    | Zona 2         | DESCENT       | NONE        | 287          | 0          |
| B767-300       | D     | 20/01/2005 | NO INFO                  | NO INFO        | FLIGHT        | MINOR       | 280          | 0          |
| B757-251       | C     | 22/07/2003 | U.S.A.                   | Zona 2         | CLIMB         | NONE        | 113          | 0          |
| B747-422       | E     | 01/05/2002 | PACIFIC OCEAN            | Zona 1         | CLIMB         | NONE        | 290          | 0          |
| B767-224       | D     | 22/04/2002 | ATLANTIC OCEAN           | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 122          | 0          |
| B767-300       | D     | 21/03/2001 | NORTH ATLANTIC OCEAN     | Zona 3         | FLIGHT        | SUBSTANTIAL | 134          | 0          |
| B747-200       | E     | 18/04/1998 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | MINOR       | 419          | 0          |
| B747-122       | E     | 28/12/1997 | JAPAN                    | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 393          | 1          |
| MD82           | C     | 08/09/1993 | GERMANY                  | Zona 3         | FLIGHT        | NONE        | 113          | 0          |
| BAE 146-300    | B     | 21/01/1993 | U.K.                     | Zona 3         | CLIMB         | NONE        | 77           | 0          |
| B737-200       | C     | 14/05/1992 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 114          | 0          |
| B767           | D     | 04/01/1992 | PUERTO RICO              | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 124          | 0          |
| B767           | D     | 17/01/1990 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 105          | 0          |
| L1011-385-1    | E     | 16/06/1989 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 259          | 0          |
| A310           | D     | 11/11/1987 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | MINOR       | 140          | 0          |
| L1011          | E     | 28/09/1987 | ATLANTIC OCEAN           | Zona 2         | FLIGHT        | MINOR       | 139          | 0          |
| B727           | C     | 19/03/1987 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 60           | 0          |
| B737-300       | C     | 22/12/1986 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | MINOR       | 136          | 0          |
| CV580          | B     | 25/04/1986 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 31           | 0          |
| B737           | C     | 17/12/1985 | NEAR BEJA                | NO INFO        | FLIGHT        | NONE        | 135          | 0          |
| B737           | C     | 31/01/1985 | NEW ZEALAND              | Zona 3         | DESCENT       | NONE        | 122          | 0          |
| DC9-30         | C     | 07/12/1984 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 105          | 0          |
| L1011-385-1-15 | E     | 24/11/1983 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | MINOR       | 160          | 0          |
| DC10           | E     | 16/07/1982 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | MINOR       | 168          | 0          |
| DC8-50         | D     | 29/05/1982 | OVER ATLANTIC OCEAN      | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 111          | 0          |
| B727           | C     | 05/06/1981 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 109          | 0          |
| NORD 262       | B     | 08/02/1980 | U.S.A.                   | Zona 2         | DESCENT       | NONE        | 17           | 0          |
| B727           | C     | 21/12/1978 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 108          | 0          |
| F27            | B     | 14/07/1978 | NEW ZEALAND              | Zona 3         | DESCENT       | NONE        | 27           | 0          |
| DC9            | C     | 05/04/1978 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 30           | 0          |
| DC8            | D     | 05/08/1977 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 63           | 0          |
| B727           | C     | 11/02/1977 | U.S.A.                   | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 52           | 0          |
| Y511           | B     | 10/02/1977 | SHELANDOAH               | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 27           | 0          |
| B747-151       | E     | 12/04/1972 | OVER NORTH PACIFIC OCEAN | Zona 1         | FLIGHT        | NONE        | 160          | 0          |

Tabla A2.2. Accidentes aéreos causados por baja visibilidad

| Aeronave           | Clase | Fecha      | Lugar        | Zona Climática | Fase de vuelo | Daños       | Accidentados | Fallecidos |
|--------------------|-------|------------|--------------|----------------|---------------|-------------|--------------|------------|
| A330-342           | E     | 13/04/2010 | HONG KONG    | Zona 1         | LANDING       | MINOR       | 322          | 0          |
| MD90               | C     | 02/11/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | CLIMB         | SUBSTANTIAL | 70           | 0          |
| B717-200           | C     | 26/10/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | FLIGHT        | NONE        | 122          | 0          |
| A310-300           | D     | 29/06/2009 | COMOROS      | Zona 1         | APPROACH      | DESTROYED   | 153          | 152        |
| SA226-TC           | B     | 03/03/2009 | CANADA       | Zona 3         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 10           | 0          |
| B737-800           | C     | 25/02/2009 | NETHERLANDS  | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 135          | 9          |
| A320-214           | C     | 15/01/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | CLIMB         | DESTROYED   | 155          | 0          |
| CANADAIJR RJ700    | B     | 15/12/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | LANDING       | MINOR       | 32           | 0          |
| DORNIER 328        | B     | 06/11/2008 | INDONESIA    | Zona 1         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 36           | 0          |
| A330-303           | E     | 07/10/2008 | AUSTRALIA    | Zona 2         | FLIGHT        | MINOR       | 315          | 0          |
| CL600-2B19         | B     | 28/06/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 48           | 0          |
| CL600-2C10         | B     | 28/06/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 64           | 0          |
| B777-236ER         | E     | 17/01/2008 | U.K.         | Zona 3         | LANDING       | DESTROYED   | 152          | 0          |
| B757-222           | C     | 13/01/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 1            | 0          |
| CL600-2C10         | B     | 13/01/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 59           | 0          |
| B777-222           | E     | 14/12/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | APPROACH      | MINOR       | 264          | 0          |
| MD82               | C     | 28/09/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | CLIMB         | SUBSTANTIAL | 143          | 0          |
| DHC8-400           | B     | 21/09/2007 | GERMANY      | Zona 3         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 57           | 0          |
| B737-200           | C     | 14/09/2007 | ZAMBIA       | Zona 1         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 109          | 0          |
| B767-323           | D     | 20/08/2007 | GERMANY      | Zona 3         | TAXIING       | MINOR       | 170          | 0          |
| B737-800           | C     | 20/08/2007 | JAPAN        | Zona 2         | PARKED        | DESTROYED   | 165          | 0          |
| AVRO RJ100         | B     | 18/08/2007 | U.K.         | Zona 3         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 93           | 0          |
| MD83               | C     | 27/06/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | PARKED        | SUBSTANTIAL | 140          | 0          |
| BEECH 1900D        | B     | 20/06/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 11           | 0          |
| DC9-31             | C     | 18/05/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | CLIMB         | SUBSTANTIAL | 99           | 0          |
| CANADAIJR RJ200-LR | B     | 07/04/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | FLIGHT        | SUBSTANTIAL | 4            | 0          |
| DC9-83             | C     | 29/03/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 157          | 0          |
| DHC8-402           | B     | 13/03/2007 | JAPAN        | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 60           | 0          |
| B777-222           | E     | 26/02/2007 | U.K.         | Zona 3         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 205          | 0          |
| CANADAIJR RJ200    | B     | 24/01/2007 | SPAIN        | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 44           | 0          |
| CASA 212-200       | B     | 11/01/2007 | INDONESIA    | Zona 1         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 13           | 0          |
| ATR72              | B     | 28/11/2006 | SOUTH KOREA  | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 74           | 0          |
| B757-27A           | C     | 16/11/2006 | SOUTH KOREA  | Zona 2         | FLIGHT        | MINOR       | 137          | 0          |
| B717-200           | C     | 10/11/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 122          | 0          |
| MD90-30            | C     | 11/10/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 155          | 0          |
| BAE 146-200A       | B     | 10/10/2006 | NORWAY       | Zona 4         | LANDING       | DESTROYED   | 16           | 4          |
| B737-8EH           | C     | 29/09/2006 | BRAZIL       | Zona 1         | FLIGHT        | DESTROYED   | 154          | 154        |
| B737-319           | C     | 12/09/2006 | NEW ZEALAND  | Zona 3         | TAXIING       | NONE        | 101          | 0          |
| B737               | C     | 10/09/2006 | BELGIUM      | Zona 3         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 45           | 0          |
| EMB170             | B     | 08/09/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 70           | 0          |
| A319-112           | C     | 08/09/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | TAXIING       | MINOR       | 109          | 0          |
| B757-232           | C     | 05/09/2006 | PUERTO RICO  | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 116          | 0          |
| CANADAIJR RJ100    | B     | 27/08/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 50           | 49         |
| B737-300           | C     | 27/07/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 78           | 0          |
| EMB135-ER          | B     | 15/07/2006 | SPAIN        | Zona 2         | PARKED        | SUBSTANTIAL | 3            | 0          |
| DHC6-300           | B     | 03/07/2006 | NEPAL        | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 3            | 0          |
| DHC6-310           | B     | 21/06/2006 | NEPAL        | Zona 2         | GO-AROUND     | DESTROYED   | 9            | 9          |
| DC9-83             | C     | 20/06/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 136          | 0          |
| EMB170             | B     | 30/05/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 61           | 0          |
| B737-800           | C     | 03/05/2006 | SWEDEN       | Zona 3         | TAKE-OFF      | MINOR       | 194          | 0          |
| CANADAIJR RJ900    | B     | 30/04/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 89           | 0          |
| AVRO RJ85          | B     | 10/03/2006 | SWEDEN       | Zona 3         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 32           | 0          |
| B757-232           | C     | 25/02/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | PARKED        | SUBSTANTIAL | 146          | 0          |
| BEECH 1900C        | B     | 21/01/2006 | SOUTH AFRICA | Zona 2         | LANDING       | MINOR       | 6            | 0          |
| B737-500           | C     | 16/01/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | PARKED        | MINOR       | 119          | 0          |
| B737-924           | C     | 15/12/2005 | U.S.A.       | Zona 2         | PARKED        | MINOR       | 174          | 0          |
| B737-800           | C     | 19/11/2005 | U.S.A.       | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 127          | 0          |
| SAAB 2000          | B     | 17/11/2005 | SWITZERLAND  | Zona 3         | TAKE-OFF      | NONE        | 44           | 0          |
| BEECH 1900D        | B     | 16/10/2005 | U.S.A.       | Zona 2         | ABORTED       | SUBSTANTIAL | 3            | 0          |
| A321-231           | C     | 18/09/2005 | U.S.A.       | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 197          | 0          |
| B747-300           | E     | 08/09/2005 | SRI LANKA    | Zona 1         | TAXIING       | NONE        | 477          | 1          |
| B737-200           | C     | 05/09/2005 | INDONESIA    | Zona 1         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 117          | 100        |

|                   |   |            |                      |         |           |             |     |     |
|-------------------|---|------------|----------------------|---------|-----------|-------------|-----|-----|
| ATR42-500         | B | 29/08/2005 | FRANCE               | Zona 3  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 28  | 0   |
| A330-303          | E | 21/08/2005 | JAPAN                | Zona 2  | TAXIING   | NONE        | 194 | 0   |
| B757-33N          | C | 20/08/2005 | U.S.A.               | Zona 2  | TAXIING   | SUBSTANTIAL | 171 | 0   |
| B747-200          | E | 19/08/2005 | GUAM                 | Zona 1  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 340 | 0   |
| B737-300          | C | 14/08/2005 | GREECE               | Zona 2  | DESCENT   | DESTROYED   | 121 | 121 |
| EMB145LR          | B | 08/08/2005 | U.S.A.               | Zona 2  | PARKED    | SUBSTANTIAL | 47  | 0   |
| B737-824          | C | 08/08/2005 | U.S.A.               | Zona 2  | TAXIING   | MINOR       | 158 | 0   |
| ATR72             | B | 06/08/2005 | ITALY                | Zona 2  | FLIGHT    | DESTROYED   | 39  | 16  |
| B737-7H4          | C | 08/07/2005 | U.S.A.               | Zona 2  | TAXIING   | MINOR       | 110 | 0   |
| JETSTREAM 41      | B | 11/06/2005 | SOUTH AFRICA         | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 16  | 0   |
| B757              | C | 12/05/2005 | U.K.                 | Zona 3  | TAKE-OFF  | MINOR       | 242 | 0   |
| SA227-DC          | B | 07/05/2005 | AUSTRALIA            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 15  | 15  |
| DHC8-103          | B | 01/05/2005 | NORWAY               | Zona 4  | LANDING   | DESTROYED   | 30  | 0   |
| B737-800          | C | 15/04/2005 | SPAIN                | Zona 2  | TAXIING   | NONE        | 65  | 0   |
| B737-72T          | C | 16/03/2005 | U.S.A.               | Zona 2  | TAXIING   | MINOR       | 10  | 0   |
| GULFSTREAM IV     | B | 01/12/2004 | U.S.A.               | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 9   | 0   |
| B737-406          | C | 28/11/2004 | SPAIN                | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 146 | 0   |
| JETSTREAM 32      | B | 19/10/2004 | U.S.A.               | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 15  | 13  |
| MD83              | C | 21/07/2004 | SPAIN                | Zona 2  | TAXIING   | MINOR       | 152 | 0   |
| DHC8-402          | B | 19/05/2004 | NORWAY               | Zona 4  | FLIGHT    | SUBSTANTIAL | 31  | 0   |
| ATR72             | B | 09/05/2004 | PUERTO RICO          | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 236 | 0   |
| F50               | B | 10/02/2004 | UNITED ARAB EMIRATES | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 46  | 43  |
| B737-3Q8          | C | 03/01/2004 | EGYPT                | Zona 2  | CLIMB     | DESTROYED   | 148 | 148 |
| A320              | C | 02/01/2004 | PORTUGAL             | Zona 2  | TAXIING   | SUBSTANTIAL | 178 | 0   |
| B727-223          | C | 25/12/2003 | NO INFO              | NO INFO | CLIMB     | DESTROYED   | 160 | 138 |
| JETSTREAM 32      | B | 17/09/2003 | SWEDEN               | Zona 3  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 2   | 0   |
| B747-438          | E | 02/07/2003 | AUSTRALIA            | Zona 2  | PARKED    | MINOR       | 368 | 0   |
| B757-232          | C | 23/06/2003 | U.S.A.               | Zona 2  | PARKED    | NONE        | 174 | 0   |
| A320              | C | 16/06/2003 | U.K.                 | Zona 3  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 185 | 0   |
| B747-412          | E | 12/03/2003 | NEW ZEALAND          | Zona 3  | TAKE-OFF  | SUBSTANTIAL | 389 | 0   |
| B737-2T4          | C | 06/03/2003 | ANTIGUA AND BARBUDA  | Zona 1  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 103 | 102 |
| GULFSTREAM I G159 | B | 24/01/2003 | KENYA                | Zona 1  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 14  | 2   |
| F50               | B | 17/01/2003 | SPAIN                | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 19  | 0   |
| B737-800          | C | 12/01/2003 | NETHERLANDS          | Zona 3  | TAKE-OFF  | SUBSTANTIAL | 120 | 0   |
| BEECH 1900D       | B | 08/01/2003 | U.S.A.               | Zona 2  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 21  | 21  |
| DHC8-401          | B | 08/01/2003 | U.S.A.               | Zona 2  | APPROACH  | SUBSTANTIAL | 32  | 0   |
| SA227-AC          | B | 29/09/2002 | U.S.A.               | Zona 2  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 21  | 0   |
| A320-231          | C | 28/08/2002 | U.S.A.               | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 159 | 0   |
| B747-256          | E | 11/08/2002 | U.S.A.               | Zona 2  | CLIMB     | SUBSTANTIAL | 386 | 0   |
| TU154             | C | 01/07/2002 | GERMANY              | Zona 3  | FLIGHT    | DESTROYED   | 69  | 69  |
| B747-200          | E | 25/05/2002 | TAIWAN               | Zona 2  | FLIGHT    | DESTROYED   | 225 | 225 |
| HS748             | B | 16/04/2002 | SOUTH AFRICA         | Zona 2  | TAXIING   | DESTROYED   | 47  | 0   |
| B737-200          | C | 14/01/2002 | INDONESIA            | Zona 1  | ABORTED   | DESTROYED   | 103 | 0   |
| B737-400          | C | 06/01/2002 | SPAIN                | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 88  | 0   |
| A300-605R         | D | 12/11/2001 | U.S.A.               | Zona 2  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 260 | 260 |
| SA226-TC          | B | 11/10/2001 | CANADA               | Zona 3  | GO-AROUND | DESTROYED   | 3   | 2   |
| B777-236          | E | 05/09/2001 | U.S.A.               | Zona 2  | PARKED    | SUBSTANTIAL | 26  | 0   |
| CASA 235          | B | 29/08/2001 | SPAIN                | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 47  | 4   |
| A330-243          | E | 24/08/2001 | PORTUGAL             | Zona 2  | FLIGHT    | SUBSTANTIAL | 306 | 0   |
| DHC8-100          | B | 05/08/2001 | U.S.A.               | Zona 2  | TAXIING   | SUBSTANTIAL | 35  | 0   |
| F100              | B | 23/05/2001 | U.S.A.               | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 92  | 0   |
| A300-600          | D | 13/05/2001 | SOUTH AFRICA         | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 87  | 0   |
| A321-211          | C | 18/04/2001 | PORTUGAL             | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 174 | 0   |
| A330-243          | E | 11/04/2001 | SRI LANKA            | Zona 1  | TAXIING   | NONE        | 152 | 1   |
| DHC6              | B | 24/03/2001 | GUADELOUPE           | Zona 1  | APPROACH  | DESTROYED   | 19  | 19  |
| B737-400          | C | 03/03/2001 | THAILAND             | Zona 1  | PARKED    | DESTROYED   | 5   | 1   |
| BEECH 1900D       | B | 10/02/2001 | U.S.A.               | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 17  | 0   |
| SA226-AT          | B | 08/02/2001 | U.S.A.               | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 6   | 2   |
| A320              | C | 07/02/2001 | SPAIN                | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 143 | 0   |
| DHC8-300          | B | 15/01/2001 | TAIWAN               | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 27  | 0   |
| DHC6 TWIN OTTER   | A | 01/11/2000 | CANADA               | Zona 3  | CLIMB     | DESTROYED   | 17  | 0   |
| DHC8-Q400         | B | 22/10/2000 | DENMARK              | Zona 3  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 68  | 0   |
| A320              | C | 23/08/2000 | BAHRAIN              | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 143 | 143 |
| CONCORDE          | E | 25/07/2000 | FRANCE               | Zona 3  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 109 | 109 |

|                  |   |            |                      |        |           |             |     |     |
|------------------|---|------------|----------------------|--------|-----------|-------------|-----|-----|
| B737-200         | C | 17/07/2000 | INDIA                | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 58  | 55  |
| DHC8-Q400        | B | 27/05/2000 | DENMARK              | Zona 3 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 71  | 0   |
| DC9-41           | C | 26/04/2000 | DENMARK              | Zona 3 | TAKE-OFF  | MINOR       | 110 | 0   |
| EMB110           | B | 17/03/2000 | NIGERIA              | Zona 1 | APPROACH  | SUBSTANTIAL | 6   | 0   |
| B737-300         | C | 05/03/2000 | U.S.A.               | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 142 | 0   |
| A310             | D | 30/01/2000 | IVORY COAST          | Zona 1 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 179 | 169 |
| F100             | B | 07/11/1999 | SPAIN                | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 44  | 0   |
| MD90-30          | C | 24/08/1999 | TAIWAN               | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 96  | 0   |
| EMB110           | B | 24/07/1999 | FIJI                 | Zona 1 | FLIGHT    | DESTROYED   | 17  | 17  |
| TU154M           | C | 24/02/1999 | CHINA                | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 61  | 61  |
| B737-200         | C | 01/11/1998 | U.S.A.               | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 105 | 0   |
| ATR42-300        | B | 25/10/1998 | PUERTO RICO          | Zona 2 | PARKED    | SUBSTANTIAL | 27  | 0   |
| YAK 40           | B | 21/10/1998 | ARMENIA              | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 37  | 0   |
| BAE 146-100      | B | 25/09/1998 | MOROCCO              | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 38  | 38  |
| MD11             | E | 02/09/1998 | CANADA               | Zona 3 | DESCENT   | DESTROYED   | 229 | 229 |
| DHC6-300         | B | 21/08/1998 | NEPAL                | Zona 2 | DESCENT   | DESTROYED   | 18  | 18  |
| BEECH 1900D      | B | 30/07/1998 | FRANCE               | Zona 3 | FLIGHT    | DESTROYED   | 14  | 14  |
| SA226-TC         | B | 18/06/1998 | CANADA               | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 11  | 11  |
| A320-212         | C | 21/05/1998 | SPAIN                | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 187 | 0   |
| B747-400         | E | 12/05/1998 | JAPAN                | Zona 2 | TAXIING   | NONE        | 385 | 0   |
| B727-200 ADV     | C | 20/04/1998 | COLOMBIA             | Zona 1 | CLIMB     | DESTROYED   | 52  | 52  |
| HS748 SER 2B     | B | 30/03/1998 | U.K.                 | Zona 3 | TAKE-OFF  | SUBSTANTIAL | 44  | 0   |
| A320-210         | C | 22/03/1998 | PHILIPPINES          | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 129 | 0   |
| DC9-32           | C | 02/02/1998 | PHILIPPINES          | Zona 1 | DESCENT   | DESTROYED   | 104 | 104 |
| F27-600          | B | 27/01/1998 | BURMA                | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 45  | 16  |
| ATR42-300        | B | 20/01/1998 | SARDINIA             | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 25  | 0   |
| B757-236         | C | 24/12/1997 | NETHERLANDS          | Zona 3 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 213 | 0   |
| TU154B           | C | 16/12/1997 | UNITED ARAB EMIRATES | Zona 2 | DESCENT   | DESTROYED   | 86  | 85  |
| SA226-TC/AT      | B | 12/12/1997 | BOLIVIA              | Zona 1 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 19  | 10  |
| L1011            | E | 20/10/1997 | U.K.                 | Zona 3 | ABORTED   | SUBSTANTIAL | 370 | 0   |
| B737-200         | C | 06/09/1997 | SAUDI ARABIA         | Zona 1 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 85  | 0   |
| ATR42-500        | B | 30/07/1997 | ITALY                | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 17  | 1   |
| MD11             | E | 08/06/1997 | JAPAN                | Zona 2 | FLIGHT    | MINOR       | 180 | 0   |
| DORNIER 228-200  | B | 02/05/1997 | GREECE               | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 20  | 0   |
| BAE ATP          | B | 19/04/1997 | INDONESIA            | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 53  | 15  |
| LET 410UVP       | B | 03/03/1997 | HONDURAS             | Zona 1 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 21  | 0   |
| SA227-AC/BC      | B | 11/01/1997 | TUNISIA              | Zona 2 | TAXIING   | DESTROYED   | 21  | 0   |
| DHC6-300         | B | 30/11/1996 | COLOMBIA             | Zona 1 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 15  | 14  |
| BEECH 1900C      | B | 19/11/1996 | U.S.A.               | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 12  | 12  |
| F100             | B | 31/10/1996 | BRAZIL               | Zona 1 | CLIMB     | DESTROYED   | 96  | 96  |
| GULFSTREAM IV    | B | 30/10/1996 | U.S.A.               | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 4   | 4   |
| SA226-TC         | B | 23/10/1996 | CANADA               | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 13  | 0   |
| B757-238         | C | 02/10/1996 | PERU                 | Zona 1 | CLIMB     | DESTROYED   | 70  | 70  |
| MD88             | C | 06/07/1996 | U.S.A.               | Zona 2 | ABORTED   | SUBSTANTIAL | 142 | 2   |
| YAK 40           | B | 28/06/1996 | RUSSIA               | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 11  | 0   |
| DC10-30          | E | 13/06/1996 | JAPAN                | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 275 | 3   |
| DC9-14           | C | 14/05/1996 | MEXICO               | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 46  | 0   |
| DC9-32           | C | 11/05/1996 | U.S.A.               | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 110 | 110 |
| DC9-32           | C | 19/02/1996 | U.S.A.               | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 87  | 0   |
| NOMAD N24A       | A | 12/02/1996 | HAITI                | Zona 1 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 15  | 11  |
| BEECH 1900D      | B | 07/12/1995 | HAITI                | Zona 1 | FLIGHT    | DESTROYED   | 20  | 20  |
| B737-200         | C | 13/11/1995 | NIGERIA              | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 138 | 11  |
| DORNIER 228-212K | B | 18/10/1995 | MALDIVES             | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 8   | 0   |
| IPTN212-100      | B | 03/10/1995 | INDONESIA            | Zona 1 | DESCENT   | DESTROYED   | 14  | 1   |
| F50              | B | 15/09/1995 | MALAYSIA             | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 53  | 34  |
| EMB120RT         | B | 21/08/1995 | U.S.A.               | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 29  | 8   |
| DC9-32           | C | 08/06/1995 | U.S.A.               | Zona 2 | ABORTED   | DESTROYED   | 62  | 0   |
| F27-600          | B | 08/05/1995 | INDONESIA            | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 28  | 0   |
| SA227-CC         | B | 01/05/1995 | CANADA               | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 3   | 3   |
| MD83             | C | 27/04/1995 | U.K.                 | Zona 3 | LANDING   | MINOR       | 178 | 0   |
| DHC6-300         | B | 17/01/1995 | NEPAL                | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 24  | 2   |
| F27-600          | B | 22/12/1994 | BOLIVIA              | Zona 1 | GO-AROUND | DESTROYED   | 40  | 0   |
| DC3              | B | 17/12/1994 | VENEZUELA            | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 9   | 7   |
| ATR72-200        | B | 08/12/1994 | GABON                | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 21  | 0   |
| MD82             | C | 22/11/1994 | U.S.A.               | Zona 2 | TAKE-OFF  | SUBSTANTIAL | 140 | 0   |



|                 |   |            |                     |        |               |             |     |     |
|-----------------|---|------------|---------------------|--------|---------------|-------------|-----|-----|
| B737-300        | C | 08/09/1994 | U.S.A.              | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 132 | 132 |
| F27-200         | B | 05/07/1994 | PAKISTAN            | Zona 2 | GO-<br>AROUND | DESTROYED   | 42  | 0   |
| F28-4000        | B | 01/07/1994 | MAURITANIA          | Zona 1 | LANDING       | DESTROYED   | 93  | 80  |
| DC3             | B | 28/05/1994 | COLOMBIA            | Zona 1 | CLIMB         | DESTROYED   | 29  | 7   |
| EMB110          | B | 07/05/1994 | BRAZIL              | Zona 1 | APPROACH      | DESTROYED   | 16  | 8   |
| A300B4-622R     | D | 26/04/1994 | JAPAN               | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 271 | 264 |
| DC3             | B | 24/04/1994 | AUSTRALIA           | Zona 2 | CLIMB         | SUBSTANTIAL | 25  | 0   |
| SAAB SF340B     | B | 04/04/1994 | NETHERLANDS         | Zona 3 | GO-<br>AROUND | DESTROYED   | 24  | 3   |
| DC9-32          | C | 21/03/1994 | SPAIN               | Zona 2 | LANDING       | DESTROYED   | 116 | 0   |
| B747-251B       | E | 01/03/1994 | JAPAN               | Zona 2 | LANDING       | SUBSTANTIAL | 245 | 0   |
| SAAB SF340B     | B | 01/02/1994 | U.S.A.              | Zona 2 | LANDING       | SUBSTANTIAL | 26  | 0   |
| SHORTS SKYVAN   | A | 02/12/1993 | LIBERIA             | Zona 1 | LANDING       | DESTROYED   | 13  | 0   |
| MD87            | C | 24/11/1993 | DENMARK             | Zona 3 | TAXIING       | DESTROYED   | 85  | 0   |
| YAK 42D         | C | 20/11/1993 | YUGOSLAVIA          | Zona 3 | APPROACH      | DESTROYED   | 116 | 115 |
| SA227-AC/BC     | B | 19/09/1993 | FRANCE              | Zona 3 | ABORTED       | DESTROYED   | 19  | 0   |
| AN28            | B | 28/08/1993 | U.K.                | Zona 3 | CLIMB         | DESTROYED   | 19  | 0   |
| DORNIER 228-200 | B | 14/06/1993 | TAIWAN              | Zona 2 | LANDING       | DESTROYED   | 22  | 0   |
| SD330-100       | B | 06/05/1993 | U.K.                | Zona 3 | ABORTED       | DESTROYED   | 30  | 0   |
| B727-2L5        | C | 22/12/1992 | LIBYA               | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 157 | 157 |
| L1011-385-1     | E | 30/07/1992 | U.S.A.              | Zona 2 | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 292 | 0   |
| B727-277        | C | 04/07/1992 | AUSTRALIA           | Zona 2 | CLIMB         | SUBSTANTIAL | 105 | 0   |
| SAAB SF340      | B | 01/07/1992 | AUSTRALIA           | Zona 2 | LANDING       | SUBSTANTIAL | 20  | 0   |
| DHC6-300        | B | 23/05/1992 | MALAYSIA            | Zona 1 | LANDING       | SUBSTANTIAL | 54  | 0   |
| MD80-82         | C | 16/10/1991 | U.S.A.              | Zona 2 | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 115 | 0   |
| EMB120RT        | B | 11/09/1991 | U.S.A.              | Zona 2 | DESCENT       | DESTROYED   | 14  | 14  |
| DC8-61          | D | 11/07/1991 | SAUDI ARABIA        | Zona 1 | LANDING       | DESTROYED   | 261 | 261 |
| B767-329ER      | D | 26/05/1991 | THAILAND            | Zona 1 | CLIMB         | DESTROYED   | 223 | 223 |
| DORNIER 228     | B | 19/04/1991 | FRENCH<br>POLYNESIA | Zona 3 | LANDING       | DESTROYED   | 22  | 10  |
| EMB120          | B | 05/04/1991 | U.S.A.              | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 23  | 23  |
| B737-291        | C | 03/03/1991 | U.S.A.              | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 25  | 25  |
| EMB110          | B | 25/02/1991 | URUGUAY             | Zona 2 | LANDING       | DESTROYED   | 12  | 0   |
| SA227-AC        | B | 01/02/1991 | U.S.A.              | Zona 2 | TAXIING       | DESTROYED   | 12  | 12  |
| B737-300        | C | 01/02/1991 | U.S.A.              | Zona 2 | LANDING       | DESTROYED   | 89  | 22  |
| BAC1-11         | B | 10/06/1990 | U.K.                | Zona 3 | CLIMB         | MINOR       | 87  | 0   |
| GULFSTREAM I    | B | 02/05/1990 | COLOMBIA            | Zona 1 | LANDING       | SUBSTANTIAL | 6   | 0   |
| B737-300        | C | 25/02/1990 | U.K.                | Zona 3 | LANDING       | SUBSTANTIAL | 153 | 0   |
| A320-231        | C | 14/02/1990 | INDIA               | Zona 2 | LANDING       | DESTROYED   | 146 | 92  |
| DC10-10         | E | 02/01/1990 | U.S.A.              | Zona 2 | FLIGHT        | NONE        | 257 | 0   |
| F28             | B | 30/12/1989 | IVORY COAST         | Zona 1 | LANDING       | DESTROYED   | 70  | 0   |
| JETSTREAM 3101  | B | 26/12/1989 | U.S.A.              | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 6   | 6   |
| DHC6-300        | B | 28/10/1989 | U.S.A.              | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 20  | 20  |
| DHC6-300        | B | 27/09/1989 | U.S.A.              | Zona 2 | GO-<br>AROUND | DESTROYED   | 21  | 10  |
| DC10-10         | E | 19/07/1989 | U.S.A.              | Zona 2 | LANDING       | DESTROYED   | 296 | 111 |
| IL62M           | D | 17/06/1989 | GERMANY             | Zona 3 | ABORTED       | DESTROYED   | 113 | 21  |
| DC10-30         | E | 07/06/1989 | U.K.                | Zona 3 | ABORTED       | MINOR       | 182 | 0   |
| B707-331B       | D | 08/02/1989 | PORTUGAL            | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 144 | 144 |
| DC9-40          | C | 02/02/1989 | NORWAY              | Zona 4 | FLIGHT        | SUBSTANTIAL | 108 | 0   |
| B737-400        | C | 08/01/1989 | U.K.                | Zona 3 | APPROACH      | DESTROYED   | 126 | 47  |
| AN24            | B | 02/11/1988 | POLAND              | Zona 3 | LANDING       | DESTROYED   | 29  | 1   |
| B727-232        | C | 31/08/1988 | U.S.A.              | Zona 2 | CLIMB         | DESTROYED   | 108 | 14  |
| CL44            | C | 06/07/1988 | COLOMBIA            | Zona 1 | APPROACH      | DESTROYED   | 8   | 3   |
| A320-100        | C | 26/06/1988 | FRANCE              | Zona 3 | GO-<br>AROUND | DESTROYED   | 136 | 3   |
| DHC8-102        | B | 15/04/1988 | U.S.A.              | Zona 2 | LANDING       | DESTROYED   | 40  | 0   |
| MD80            | C | 03/02/1988 | U.S.A.              | Zona 2 | APPROACH      | SUBSTANTIAL | 126 | 0   |
| B737-200        | C | 31/08/1987 | THAILAND            | Zona 1 | APPROACH      | DESTROYED   | 83  | 83  |
| MD82            | C | 16/08/1987 | U.S.A.              | Zona 2 | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 155 | 154 |
| JETSTREAM 3101  | B | 26/05/1987 | U.S.A.              | Zona 2 | CLIMB         | DESTROYED   | 11  | 0   |
| IL62M           | D | 09/05/1987 | POLAND              | Zona 3 | CLIMB         | DESTROYED   | 183 | 183 |
| CASA 212-CC     | B | 08/05/1987 | PUERTO RICO         | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 6   | 2   |
| CASA 212        | B | 04/03/1987 | U.S.A.              | Zona 2 | LANDING       | DESTROYED   | 19  | 9   |
| SA226-TC        | B | 15/01/1987 | U.S.A.              | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 8   | 8   |
| DC9-32          | C | 31/08/1986 | U.S.A.              | Zona 2 | APPROACH      | DESTROYED   | 64  | 64  |
| DC10-40         | E | 10/08/1986 | U.S.A.              | Zona 2 | PARKED        | DESTROYED   | 0   | 0   |

|                 |   |            |                       |        |           |             |     |     |
|-----------------|---|------------|-----------------------|--------|-----------|-------------|-----|-----|
| DHC6-300        | B | 18/06/1986 | U.S.A.                | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 20  | 20  |
| SD360           | B | 31/01/1986 | U.K.                  | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 36  | 0   |
| DC3             | B | 31/12/1985 | U.S.A.                | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 9   | 7   |
| DC9-14          | C | 06/09/1985 | U.S.A.                | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 31  | 31  |
| B737-236 Sr1    | C | 22/08/1985 | U.K.                  | Zona 3 | ABORTED   | DESTROYED   | 137 | 55  |
| B747-SR-100     | E | 12/08/1985 | JAPAN                 | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 524 | 520 |
| L188C           | C | 21/01/1985 | U.S.A.                | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 71  | 70  |
| EMB110P1        | B | 06/12/1984 | U.S.A.                | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 13  | 13  |
| DHC6-300        | B | 21/07/1984 | AMERICAN SAMOA        | Zona 3 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 16  | 1   |
| B737-200        | C | 22/03/1984 | CANADA                | Zona 3 | ABORTED   | DESTROYED   | 119 | 0   |
| F27-100         | B | 13/01/1984 | U.S.A.                | Zona 2 | TAKE-OFF  | SUBSTANTIAL | 24  | 0   |
| DHC6-310        | B | 20/04/1983 | U.K.                  | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 12  | 0   |
| DHC6-300        | B | 15/02/1983 | U.S.A.                | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 8   | 0   |
| F27A            | B | 09/12/1982 | CHILE                 | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 46  | 46  |
| DC10-30CF       | E | 13/09/1982 | SPAIN                 | Zona 2 | ABORTED   | DESTROYED   | 394 | 50  |
| DHC6-200        | A | 16/05/1982 | U.S.A.                | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 8   | 0   |
| A300-B4         | D | 17/03/1982 | YEMEN                 | Zona 1 | ABORTED   | DESTROYED   | 124 | 0   |
| DHC6-300        | B | 11/03/1982 | NORWAY                | Zona 4 | FLIGHT    | DESTROYED   | 15  | 15  |
| DC8-61          | D | 09/02/1982 | JAPAN                 | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 174 | 24  |
| JETSTREAM       | B | 17/04/1981 | U.S.A.                | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 13  | 13  |
| B737-293        | C | 17/02/1981 | U.S.A.                | Zona 2 | GO-AROUND | DESTROYED   | 110 | 0   |
| DC10-30         | E | 16/09/1980 | U.K.                  | Zona 3 | TAKE-OFF  | SUBSTANTIAL | 237 | 0   |
| L1011           | E | 19/08/1980 | SAUDI ARABIA          | Zona 1 | PARKED    | DESTROYED   | 301 | 301 |
| VISCOUNT 708    | B | 17/07/1980 | U.K.                  | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 62  | 0   |
| SA226-TC        | B | 13/05/1980 | AUSTRALIA             | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 12  | 0   |
| DHC6-200        | A | 30/09/1979 | CANADA                | Zona 3 | APPROACH  | SUBSTANTIAL | 16  | 2   |
| DC7             | C | 14/09/1979 | U.S.A.                | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 12  | 12  |
| HERON DH114     | B | 24/07/1979 | VIRGIN ISLANDS (U.S.) | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 21  | 8   |
| DC10-10         | E | 25/05/1979 | U.S.A.                | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 271 | 271 |
| NORD 262        | B | 10/03/1979 | U.S.A.                | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 7   | 3   |
| NORD 262        | B | 24/01/1979 | ALGERIA               | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 23  | 14  |
| DC8-61          | D | 28/12/1978 | U.S.A.                | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 189 | 10  |
| B737-200        | C | 17/12/1978 | INDIA                 | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 132 | 1   |
| B727-214        | C | 25/09/1978 | U.S.A.                | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 135 | 135 |
| DHC6-200        | A | 03/09/1978 | CANADA                | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 13  | 11  |
| BAC1-11         | B | 09/07/1978 | U.S.A.                | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 77  | 0   |
| B747            | E | 02/06/1978 | JAPAN                 | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 394 | 0   |
| CARAVELLE 10B1R | C | 18/12/1977 | PORTUGAL              | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 57  | 36  |
| CV240           | B | 20/10/1977 | U.S.A.                | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 26  | 6   |
| B707-366C       | D | 25/12/1976 | THAILAND              | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 52  | 52  |
| DC9-14          | C | 16/11/1976 | U.S.A.                | Zona 2 | ABORTED   | SUBSTANTIAL | 86  | 0   |
| DC9-32          | C | 10/09/1976 | YUGOSLAVIA            | Zona 3 | FLIGHT    | DESTROYED   | 113 | 113 |
| TRIDENT 3B      | C | 10/09/1976 | YUGOSLAVIA            | Zona 3 | FLIGHT    | DESTROYED   | 63  | 63  |
| L188A           | C | 04/06/1976 | PHILIPPINES           | Zona 1 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 45  | 45  |
| B727-95         | C | 27/04/1976 | VIRGIN ISLANDS (U.S.) | Zona 2 | GO-AROUND | DESTROYED   | 88  | 37  |
| B727-224        | C | 07/08/1975 | U.S.A.                | Zona 2 | CLIMB     | SUBSTANTIAL | 134 | 0   |
| DC3C            | B | 27/03/1975 | U.S.A.                | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 11  | 0   |
| DHC6            | A | 09/01/1975 | U.S.A.                | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 12  | 12  |
| DC9             | C | 23/11/1974 | YUGOSLAVIA            | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 50  | 0   |
| B747-130        | E | 20/11/1974 | KENYA                 | Zona 1 | CLIMB     | DESTROYED   | 156 | 59  |
| DC6B            | C | 04/10/1974 | U.K.                  | Zona 3 | TAKE-OFF  | SUBSTANTIAL | 105 | 0   |
| B707-300        | D | 08/09/1974 | GREECE                | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 88  | 88  |
| VISCOUNT        | B | 08/06/1974 | COLOMBIA              | Zona 1 | DESCENT   | DESTROYED   | 44  | 44  |
| B707-321C       | D | 22/04/1974 | INDONESIA             | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 107 | 107 |
| CARAVELLE 10B3  | C | 15/03/1974 | IRAN                  | Zona 2 | TAXIING   | DESTROYED   | 96  | 15  |
| CV340/440       | B | 13/03/1974 | U.S.A.                | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 36  | 36  |
| DC7C/F          | C | 03/03/1974 | U.K.                  | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 10  | 0   |
| DC10-10         | E | 03/03/1974 | FRANCE                | Zona 3 | FLIGHT    | DESTROYED   | 346 | 346 |
| F28-1000        | B | 26/01/1974 | TURKEY                | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 73  | 66  |
| DC7B            | C | 13/12/1973 | BOLIVIA               | Zona 1 | TAXIING   | DESTROYED   | 33  | 0   |
| B707-321C       | D | 11/07/1973 | FRANCE                | Zona 3 | FLIGHT    | DESTROYED   | 134 | 123 |
| DC9-32          | C | 05/03/1973 | FRANCE                | Zona 3 | FLIGHT    | DESTROYED   | 68  | 68  |
| CV990-30A-5     | C | 03/12/1972 | SPAIN                 | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 155 | 155 |

|                 |   |            |                       |        |           |             |     |     |
|-----------------|---|------------|-----------------------|--------|-----------|-------------|-----|-----|
| B707            | D | 13/08/1972 | U.S.A.                | Zona 2 | ABORTED   | SUBSTANTIAL | 186 | 0   |
| BAC1-11         | B | 19/07/1972 | GREECE                | Zona 2 | ABORTED   | SUBSTANTIAL | 85  | 1   |
| CV580           | B | 29/06/1972 | U.S.A.                | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 5   | 5   |
| DHC6-100        | A | 29/06/1972 | U.S.A.                | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 8   | 8   |
| HERON DH114     | B | 24/06/1972 | PUERTO RICO           | Zona 2 | GO-AROUND | DESTROYED   | 20  | 5   |
| TRIDENT 1C      | C | 18/06/1972 | U.K.                  | Zona 3 | CLIMB     | DESTROYED   | 118 | 118 |
| VC10            | D | 18/04/1972 | ETHIOPIA              | Zona 1 | ABORTED   | DESTROYED   | 107 | 43  |
| CARAVELLE       | C | 07/01/1972 | SPAIN                 | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 104 | 104 |
| VANGUARD 951    | C | 02/10/1971 | BELGIUM               | Zona 3 | FLIGHT    | DESTROYED   | 63  | 63  |
| BAC1-11-500/515 | C | 06/09/1971 | GERMANY               | Zona 3 | CLIMB     | DESTROYED   | 121 | 22  |
| B747-121        | E | 30/07/1971 | U.S.A.                | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 218 | 0   |
| DC9-31          | C | 06/06/1971 | U.S.A.                | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 49  | 49  |
| DC3             | B | 03/06/1971 | U.K.                  | Zona 3 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 36  | 0   |
| B707-323        | D | 09/01/1971 | U.S.A.                | Zona 2 | FLIGHT    | SUBSTANTIAL | 21  | 0   |
| COMET 4C        | C | 02/01/1971 | LIBYA                 | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 16  | 16  |
| B727-200        | C | 28/12/1970 | VIRGIN ISLANDS (U.S.) | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 55  | 2   |
| MARTIN 404      | B | 02/10/1970 | U.S.A.                | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 40  | 31  |
| B737-222        | C | 19/07/1970 | U.S.A.                | Zona 2 | ABORTED   | SUBSTANTIAL | 61  | 0   |
| DC8-63          | D | 05/07/1970 | CANADA                | Zona 3 | GO-AROUND | DESTROYED   | 109 | 109 |
| B707-321B       | D | 01/12/1969 | AUSTRALIA             | Zona 2 | ABORTED   | SUBSTANTIAL | 136 | 0   |
| DC9-30          | C | 09/09/1969 | U.S.A.                | Zona 2 | DESCENT   | DESTROYED   | 82  | 82  |
| BAC1-11-320     | B | 17/08/1969 | NR HANOVER            | Zona 3 | FLIGHT    | SUBSTANTIAL | 89  | 0   |
| F27             | B | 24/05/1969 | ITALY                 | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 36  | 1   |
| IL18            | C | 20/03/1969 | EGYPT                 | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 105 | 100 |
| VISCOUNT        | B | 31/12/1968 | AUSTRALIA             | Zona 2 | DESCENT   | DESTROYED   | 26  | 26  |
| CARAVELLE III   | C | 11/09/1968 | FRANCE                | Zona 3 | DESCENT   | DESTROYED   | 95  | 95  |
| VISCOUNT        | B | 09/08/1968 | GERMANY               | Zona 3 | FLIGHT    | DESTROYED   | 48  | 48  |
| CV580           | B | 04/08/1968 | U.S.A.                | Zona 2 | DESCENT   | SUBSTANTIAL | 11  | 0   |
| CV340-68        | B | 08/07/1968 | SAUDI ARABIA          | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 11  | 11  |
| B707-344C       | D | 20/04/1968 | NAMIBIA               | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 128 | 123 |
| B707-465        | D | 08/04/1968 | U.K.                  | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 127 | 5   |
| VISCOUNT        | B | 24/03/1968 | IRISH SEA             | Zona 3 | FLIGHT    | DESTROYED   | 61  | 61  |
| B707-328C       | D | 06/03/1968 | GUADELOUPE            | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 43  | 43  |
| CV880M          | C | 05/11/1967 | HONG KONG             | Zona 1 | ABORTED   | DESTROYED   | 127 | 1   |
| B727-22         | C | 19/07/1967 | U.S.A.                | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 79  | 79  |
| DC4             | B | 03/06/1967 | FRANCE                | Zona 3 | DESCENT   | DESTROYED   | 88  | 88  |
| DC9-15          | C | 09/03/1967 | U.S.A.                | Zona 2 | DESCENT   | DESTROYED   | 25  | 25  |

**Tabla A2.3.** Accidentes aéreos causados por niebla o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno

| Aeronave       | Clase | Fecha      | Lugar      | Zona Climática | Fase de vuelo | Daños       | Accidentados | Fallecidos |
|----------------|-------|------------|------------|----------------|---------------|-------------|--------------|------------|
| DHC6-300       | B     | 02/08/2009 | INDONESIA  | Zona 1         | APPROACH      | DESTROYED   | 15           | 15         |
| JETSTREAM 31   | B     | 27/11/2008 | CANADA     | Zona 3         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 6            | 0          |
| CANADAIR RJ200 | B     | 16/12/2007 | U.S.A.     | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 34           | 0          |
| EMB145LR       | B     | 12/05/2006 | U.S.A.     | Zona 2         | PARKED        | SUBSTANTIAL | 51           | 0          |
| CL600-2B19     | B     | 12/06/2005 | U.S.A.     | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 17           | 0          |
| B737-210C      | C     | 25/02/2004 | CANADA     | Zona 3         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 252          | 0          |
| CANADAIR RJ100 | B     | 22/06/2003 | FRANCE     | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 24           | 1          |
| F50            | B     | 06/11/2002 | LUXEMBOURG | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 22           | 20         |
| MD87           | C     | 08/10/2001 | ITALY      | Zona 2         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 110          | 110        |
| BEECH 1900D    | B     | 12/08/1999 | CANADA     | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 4            | 1          |
| DHC6           | A     | 08/04/1999 | COLUMBIA   | Zona 2         | DESCENT       | DESTROYED   | 5            | 5          |
| B727-223       | C     | 09/02/1998 | U.S.A.     | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 122          | 0          |
| AVRO RJ100     | B     | 11/01/1998 | TURKEY     | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 74           | 0          |
| F100           | B     | 05/01/1998 | IRAN       | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 113          | 0          |
| F28-4000       | B     | 22/12/1997 | BANGLADESH | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 89           | 0          |
| CL600-2B19     | B     | 16/12/1997 | CANADA     | Zona 3         | GO-AROUND     | DESTROYED   | 42           | 0          |
| A300B4-220     | D     | 26/09/1997 | INDONESIA  | Zona 1         | DESCENT       | DESTROYED   | 234          | 234        |
| YAK 40         | B     | 29/01/1997 | RUSSIA     | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 28           | 0          |



|                |   |            |                   |         |           |             |     |     |
|----------------|---|------------|-------------------|---------|-----------|-------------|-----|-----|
| CASA 212-200   | B | 09/09/1995 | COLOMBIA          | Zona 1  | GO-AROUND | DESTROYED   | 22  | 21  |
| DC9-14         | C | 11/01/1995 | COLOMBIA          | Zona 1  | APPROACH  | DESTROYED   | 52  | 51  |
| JETSTREAM 3201 | B | 13/12/1994 | U.S.A.            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 20  | 15  |
| BAC1-11-515FB  | C | 18/09/1994 | ALGERIA           | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 39  | 34  |
| AN26           | B | 26/12/1993 | ARMENIA           | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 36  | 35  |
| TU154B         | C | 25/12/1993 | RUSSIA            | Zona 3  | LANDING   | DESTROYED   | 172 | 0   |
| SD330 300      | B | 01/12/1993 | CANADA            | Zona 3  | APPROACH  | DESTROYED   | 13  | 0   |
| B727-200       | C | 28/11/1993 | CANADA            | Zona 3  | PARKED    | MINOR       | 66  | 0   |
| MD82           | C | 13/11/1993 | CHINA             | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 101 | 11  |
| TU154          | C | 09/01/1993 | INDIA             | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 165 | 0   |
| A300B4-203     | D | 28/09/1992 | NEPAL             | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 167 | 167 |
| EMB110         | B | 03/02/1992 | BRAZIL            | Zona 1  | DESCENT   | DESTROYED   | 12  | 12  |
| DC3A           | B | 22/12/1991 | GERMANY           | Zona 3  | FLIGHT    | DESTROYED   | 32  | 28  |
| F27-600        | B | 10/05/1991 | INDONESIA         | Zona 1  | APPROACH  | DESTROYED   | 13  | 13  |
| DC9-32         | C | 05/03/1991 | VENEZUELA         | Zona 1  | CLIMB     | DESTROYED   | 43  | 43  |
| JETSTREAM 3101 | B | 30/01/1991 | U.S.A.            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 19  | 0   |
| DC9-14         | C | 03/12/1990 | U.S.A.            | Zona 2  | TAXIING   | DESTROYED   | 44  | 8   |
| FH227B         | B | 06/11/1990 | BRAZIL            | Zona 1  | APPROACH  | DESTROYED   | 42  | 22  |
| YAK 40         | B | 01/08/1990 | AZERBAIJAN        | Zona 2  | DESCENT   | DESTROYED   | 46  | 46  |
| DHC6           | A | 29/03/1990 | U.S.A.            | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 15  | 0   |
| B707-321B      | D | 25/01/1990 | U.S.A.            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 158 | 73  |
| B727-225A      | C | 18/01/1990 | U.S.A.            | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 157 | 0   |
| B737-400       | C | 20/09/1989 | U.S.A.            | Zona 2  | ABORTED   | DESTROYED   | 63  | 2   |
| SD330-200      | B | 03/08/1989 | GREECE            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 34  | 34  |
| DC10           | E | 27/07/1989 | LIBYA             | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 199 | 72  |
| DC8            | D | 07/06/1989 | SURINAME          | Zona 1  | APPROACH  | DESTROYED   | 187 | 177 |
| EMB110         | B | 14/11/1988 | FINLAND           | Zona 4  | APPROACH  | DESTROYED   | 12  | 6   |
| B707-300       | D | 17/10/1988 | ITALY             | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 57  | 32  |
| MD80           | C | 12/06/1988 | ARGENTINA         | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 22  | 22  |
| EMB120RT       | B | 21/12/1987 | FRANCE            | Zona 3  | APPROACH  | DESTROYED   | 16  | 16  |
| TU134A         | C | 12/12/1986 | GERMANY           | Zona 3  | APPROACH  | DESTROYED   | 82  | 72  |
| B727-235       | C | 06/11/1986 | U.S.A.            | Zona 2  | TAXIING   | SUBSTANTIAL | 23  | 0   |
| DHC6-310       | B | 12/06/1986 | U.K.              | Zona 3  | APPROACH  | DESTROYED   | 16  | 1   |
| EMB110P1       | B | 13/03/1986 | U.S.A.            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 9   | 3   |
| DC3A-178       | B | 29/01/1986 | MEXICO            | Zona 2  | GO-AROUND | DESTROYED   | 21  | 21  |
| B737-200       | C | 28/01/1986 | BRAZIL            | Zona 1  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 72  | 1   |
| CARAVELLE III  | C | 18/01/1986 | GUATEMALA         | Zona 1  | GO-AROUND | DESTROYED   | 87  | 87  |
| B727-256       | C | 19/02/1985 | SPAIN             | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 148 | 148 |
| DHC6-300       | B | 23/01/1985 | CERRO EL PLATEADO | NO INFO | FLIGHT    | DESTROYED   | 23  | 23  |
| AN24           | B | 18/01/1985 | CHINA             | Zona 2  | GO-AROUND | DESTROYED   | 41  | 38  |
| DHC6-100       | A | 09/10/1984 | CANADA            | Zona 3  | APPROACH  | DESTROYED   | 7   | 7   |
| DC10-30        | E | 28/02/1984 | U.S.A.            | Zona 2  | LANDING   | SUBSTANTIAL | 177 | 0   |
| DC9-32         | C | 07/12/1983 | SPAIN             | Zona 2  | TAXIING   | DESTROYED   | 42  | 42  |
| B727-200       | C | 07/12/1983 | SPAIN             | Zona 2  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 93  | 51  |
| F28-200        | B | 28/11/1983 | NIGERIA           | Zona 1  | APPROACH  | DESTROYED   | 72  | 53  |
| B747-283B      | E | 27/11/1983 | SPAIN             | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 192 | 181 |
| YAK 40         | B | 19/04/1983 | ARMENIA           | Zona 2  | DESCENT   | DESTROYED   | 21  | 21  |
| DC10-30CF      | E | 23/01/1982 | U.S.A.            | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 212 | 2   |
| DHC6-300       | B | 22/05/1981 | ECUADOR           | Zona 1  | FLIGHT    | DESTROYED   | 18  | 18  |
| B747-285B      | E | 19/11/1980 | SOUTH KOREA       | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 226 | 15  |
| B727-64        | C | 25/04/1980 | SPAIN             | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 146 | 146 |
| DC10-10        | E | 31/10/1979 | MEXICO            | Zona 2  | LANDING   | DESTROYED   | 89  | 72  |
| DHC6-300       | B | 28/10/1979 | MEXICO            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 10  | 10  |
| DHC6-300       | B | 17/06/1979 | U.S.A.            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 10  | 1   |
| DHC6-200       | A | 30/05/1979 | U.S.A.            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 18  | 17  |
| F27            | B | 29/03/1979 | CANADA            | Zona 3  | CLIMB     | DESTROYED   | 24  | 17  |
| CV580          | B | 25/07/1978 | U.S.A.            | Zona 2  | TAKE-OFF  | SUBSTANTIAL | 43  | 0   |
| DC9-32         | C | 26/06/1978 | CANADA            | Zona 3  | ABORTED   | DESTROYED   | 107 | 2   |
| B727-235       | C | 08/05/1978 | U.S.A.            | Zona 2  | APPROACH  | DESTROYED   | 58  | 3   |
| DC3-D          | B | 28/01/1978 | COLOMBIA          | Zona 1  | FLIGHT    | DESTROYED   | 12  | 12  |
| DC3            | B | 13/12/1977 | U.S.A.            | Zona 2  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 29  | 29  |
| B747-206B      | E | 27/03/1977 | SPAIN             | Zona 2  | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 248 | 248 |
| B747           | E | 27/03/1977 | SPAIN             | Zona 2  | TAXIING   | DESTROYED   | 396 | 335 |



|               |   |            |               |        |           |             |     |     |
|---------------|---|------------|---------------|--------|-----------|-------------|-----|-----|
| DHC6          | A | 16/12/1976 | JUAN DE FUCA  | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 16  | 0   |
| DHC6-300      | B | 12/12/1976 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 10  | 3   |
| YS11A-500     | B | 23/11/1976 | GREECE        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 50  | 50  |
| GULFSTREAM II | B | 26/09/1976 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 11  | 11  |
| C54A-5-DC     | B | 15/01/1976 | COLOMBIA      | Zona 1 | FLIGHT    | DESTROYED   | 13  | 13  |
| B707          | D | 22/12/1975 | ITALY         | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 125 | 0   |
| B727-225      | C | 12/11/1975 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 139 | 0   |
| DC9-30        | C | 30/10/1975 | CZECHOSLOVA   | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 120 | 75  |
| F28-1000      | B | 24/09/1975 | INDONESIA     | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 61  | 25  |
| F27B          | B | 30/08/1975 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 32  | 10  |
| DC3C          | B | 01/02/1975 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 16  | 5   |
| DC9-31        | C | 11/09/1974 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 82  | 72  |
| B707-131B     | D | 16/01/1974 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 65  | 0   |
| F28-1000      | B | 01/01/1974 | ITALY         | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 42  | 38  |
| DC10-30       | E | 17/12/1973 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 167 | 0   |
| DC9-31        | C | 27/11/1973 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 26  | 0   |
| CARAVELLE     | C | 13/08/1973 | SPAIN         | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 85  | 85  |
| DC9-31        | C | 31/07/1973 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 89  | 88  |
| DC8-61F       | D | 23/06/1973 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 128 | 0   |
| DC9-31        | C | 20/12/1972 | U.S.A.        | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 45  | 10  |
| B737-222      | C | 08/12/1972 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 61  | 45  |
| DC10-10       | E | 12/06/1972 | CANADA        | Zona 3 | FLIGHT    | SUBSTANTIAL | 67  | 0   |
| CV440         | B | 17/12/1971 | ITALY         | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 22  | 0   |
| CV580         | B | 07/06/1971 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 31  | 28  |
| DC9-15        | C | 17/02/1971 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 11  | 0   |
| BAC1-11       | B | 07/12/1970 | ROMANIA       | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 27  | 18  |
| DHC6          | A | 09/11/1970 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 6   | 0   |
| F27           | B | 26/09/1970 | FAROE ISLANDS | Zona 3 | DESCENT   | DESTROYED   | 34  | 8   |
| DC8-62        | D | 15/09/1970 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 156 | 0   |
| YS11          | B | 12/08/1970 | CHINA         | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 31  | 14  |
| COMET 4       | C | 03/07/1970 | SPAIN         | Zona 2 | DESCENT   | DESTROYED   | 112 | 112 |
| MARTIN 404    | B | 30/05/1970 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 33  | 1   |
| C47B          | B | 23/12/1969 | LAOS          | Zona 1 | GO-AROUND | DESTROYED   | 19  | 6   |
| VC10-1101     | D | 20/11/1969 | NIGERIA       | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 87  | 87  |
| DC3           | B | 12/07/1969 | NEPAL         | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 35  | 35  |
| DC3           | B | 20/03/1969 | U.S.A.        | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 27  | 16  |
| AN24          | B | 24/01/1969 | POLAND        | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 48  | 0   |
| DC8-62        | D | 13/01/1969 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 45  | 15  |
| B727-100      | C | 05/01/1969 | U.K.          | Zona 3 | GO-AROUND | DESTROYED   | 65  | 50  |
| DC9-15        | C | 27/12/1968 | U.S.A.        | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 68  | 0   |
| CV580         | B | 27/12/1968 | U.S.A.        | Zona 2 | GO-AROUND | DESTROYED   | 45  | 27  |
| FH227C        | B | 25/10/1968 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 42  | 32  |
| FH227B        | B | 10/08/1968 | U.S.A.        | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 37  | 35  |
| DC3           | B | 25/12/1967 | THAILAND      | Zona 1 | ABORTED   | DESTROYED   | 31  | 4   |
| DC8-33        | D | 05/03/1967 | LIBERIA       | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 90  | 51  |

**Tabla A2.4.** Accidentes aéreos causados por nieve o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno

| Aeronave    | Clase | Fecha      | Lugar  | Zona Climática | Fase de vuelo | Daños       | Accidentados | Fallecidos |
|-------------|-------|------------|--------|----------------|---------------|-------------|--------------|------------|
| ATR72-212   | B     | 31/10/1994 | U.S.A. | Zona 2         | DESCENT       | DESTROYED   | 68           | 68         |
| SA226-TC/AT | B     | 17/12/1987 | U.S.A. | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 8            | 0          |
| BEECH 1900C | B     | 23/11/1987 | U.S.A. | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 21           | 18         |
| DHC6-300    | B     | 12/03/1985 | U.S.A. | Zona 2         | TAKE-OFF      | SUBSTANTIAL | 4            | 0          |
| DHC6        | A     | 03/12/1979 | U.S.A. | Zona 2         | FLIGHT        | DESTROYED   | 4            | 4          |
| VISCOUNT    | B     | 15/01/1977 | SWEDEN | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 22           | 22         |

**Tabla A2.5.** Accidentes aéreos causados por lluvia o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno

|                |   |            |                  |        |           |             |     |     |
|----------------|---|------------|------------------|--------|-----------|-------------|-----|-----|
| EMB145         | B | 16/06/2010 | CANADA           | Zona 3 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 36  | 0   |
| B737-823       | C | 22/12/2009 | JAMAICA          | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 154 | 0   |
| EMB135LR       | B | 07/12/2009 | SOUTH AFRICA     | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 35  | 0   |
| B737-2H4       | C | 16/10/2008 | VENEZUELA        | Zona 1 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 55  | 0   |
| B737-505       | C | 14/09/2008 | RUSSIA           | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 88  | 88  |
| B737-230       | C | 01/11/2007 | INDONESIA        | Zona 1 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 94  | 0   |
| MD82           | C | 16/09/2007 | THAILAND         | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 130 | 89  |
| A320-233       | C | 17/07/2007 | BRAZIL           | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 187 | 187 |
| B737-232       | C | 10/07/2007 | U.S.A.           | Zona 2 | PARKED    | NONE        | 116 | 1   |
| B737-33A       | C | 21/02/2007 | INDONESIA        | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 155 | 0   |
| A310-324       | D | 08/07/2006 | RUSSIA           | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 203 | 125 |
| A320-211       | C | 03/05/2006 | RUSSIA           | Zona 3 | GO-AROUND | DESTROYED   | 113 | 113 |
| A340-300       | E | 06/11/2005 | U.K.             | Zona 3 | TAXIING   | MINOR       | 283 | 0   |
| B777-200       | E | 06/11/2005 | U.K.             | Zona 3 | PARKED    | SUBSTANTIAL | 279 | 0   |
| B767-200       | D | 06/11/2005 | U.K.             | Zona 3 | APPROACH  | NONE        | 207 | 0   |
| A340-313       | E | 02/08/2005 | CANADA           | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 309 | 0   |
| ATR72-212A     | B | 19/07/2005 | TAIWAN           | Zona 2 | TAXIING   | MINOR       | 28  | 0   |
| B727-200       | C | 12/06/2005 | NIGERIA          | Zona 1 | LANDING   | MINOR       | 155 | 0   |
| MD82           | C | 30/11/2004 | INDONESIA        | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 163 | 25  |
| JETSTREAM 3101 | B | 18/11/2004 | VENEZUELA        | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 21  | 4   |
| A320-232       | C | 18/10/2004 | TAIWAN           | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 106 | 0   |
| B767           | D | 15/04/2002 | SOUTH KOREA      | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 166 | 129 |
| MD11-11        | E | 31/03/2002 | U.S.A.           | Zona 2 | LANDING   | MINOR       | 245 | 0   |
| JETSTREAM 31   | B | 30/11/2001 | NORWAY           | Zona 4 | LANDING   | DESTROYED   | 13  | 0   |
| B737-3G7       | C | 25/08/2001 | U.S.A.           | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 59  | 0   |
| DC10-10        | E | 24/12/2000 | TAHITI           | TAHITI | LANDING   | SUBSTANTIAL | 154 | 0   |
| B757-236       | C | 15/11/2000 | DENMARK          | Zona 3 | APPROACH  | MINOR       | 97  | 0   |
| B747-412B      | E | 31/10/2000 | TAIWAN           | Zona 2 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 179 | 83  |
| DC9-30         | C | 06/10/2000 | MEXICO           | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 102 | 0   |
| MD83           | C | 25/05/2000 | FRANCE           | Zona 3 | TAKE-OFF  | MINOR       | 157 | 0   |
| SAAB SF340     | B | 10/01/2000 | SWITZERLAND      | Zona 3 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 10  | 10  |
| DC10-30        | E | 21/12/1999 | GUATEMALA        | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 314 | 16  |
| B747-438       | E | 23/09/1999 | THAILAND         | Zona 1 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 410 | 0   |
| MD11           | E | 22/08/1999 | HONG KONG        | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 315 | 3   |
| B737-200       | C | 05/04/1999 | INDONESIA        | Zona 1 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 66  | 0   |
| MD83           | C | 15/03/1999 | SOUTH KOREA      | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 156 | 0   |
| B737-200       | C | 04/03/1999 | FRANCE           | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 97  | 0   |
| A310-200       | D | 11/12/1998 | THAILAND         | Zona 1 | GO-AROUND | DESTROYED   | 146 | 102 |
| B747-400       | E | 05/08/1998 | SOUTH KOREA      | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 379 | 0   |
| B737-200       | C | 05/05/1998 | PERU             | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 88  | 75  |
| A300-620R      | D | 16/02/1998 | TAIWAN           | Zona 2 | GO-AROUND | DESTROYED   | 197 | 197 |
| SD360          | B | 09/02/1998 | U.K.             | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 30  | 0   |
| F27-500        | B | 07/12/1997 | U.K.             | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 54  | 0   |
| TU134          | C | 03/09/1997 | CAMBODIA         | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 66  | 65  |
| B727-200       | C | 12/08/1997 | GREECE           | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 35  | 0   |
| DORNIER 228    | B | 10/08/1997 | TAIWAN           | Zona 2 | GO-AROUND | DESTROYED   | 16  | 16  |
| B747-3B5B      | E | 06/08/1997 | GUAM             | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 254 | 228 |
| BAC1-11-200    | B | 29/07/1997 | NIGERIA          | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 55  | 0   |
| DHC6-300       | B | 18/07/1997 | PAPUA NEW GUINEA | Zona 1 | CLIMB     | DESTROYED   | 4   | 2   |
| B737-300       | C | 08/05/1997 | CHINA            | Zona 2 | GO-AROUND | DESTROYED   | 74  | 35  |
| DC9-51         | C | 12/04/1997 | IVORY COAST      | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 104 | 0   |
| B747-200B      | E | 20/03/1997 | TAIWAN           | Zona 2 | LANDING   | MINOR       | 300 | 0   |
| B737-200       | C | 14/02/1997 | BRAZIL           | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 52  | 1   |
| DHC6-300       | B | 08/01/1997 | WESTERN SAMOA    | Zona 1 | LANDING   | DESTROYED   | 5   | 3   |
| IPTN212-100    | B | 07/12/1996 | INDONESIA        | Zona 1 | TAKE-OFF  | DESTROYED   | 17  | 16  |
| MD88           | C | 19/10/1996 | U.S.A.           | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 63  | 0   |

|                 |   |            |                    |        |          |             |     |     |
|-----------------|---|------------|--------------------|--------|----------|-------------|-----|-----|
| DHC6-300        | B | 30/09/1996 | INDONESIA          | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 5   | 0   |
| B707-320C       | D | 21/08/1996 | TURKEY             | Zona 2 | LANDING  | DESTROYED   | 128 | 0   |
| F27-600         | B | 24/07/1996 | MYANMAR (BURMA)    | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 49  | 8   |
| HS748-2B        | B | 11/07/1996 | INDIA              | Zona 2 | TAKE-OFF | DESTROYED   | 47  | 0   |
| DHC6-300        | B | 09/07/1996 | PAPUA NEW GUINEA   | Zona 1 | DESCENT  | DESTROYED   | 20  | 20  |
| SA227-AC/BC     | B | 03/05/1996 | U.S.A.             | Zona 2 | LANDING  | SUBSTANTIAL | 13  | 0   |
| B727-200        | C | 01/05/1996 | ECUADOR            | Zona 1 | TAKE-OFF | DESTROYED   | 86  | 0   |
| HS748-2B        | B | 25/04/1996 | NEPAL              | Zona 2 | LANDING  | DESTROYED   | 31  | 0   |
| DORNIER 228-200 | B | 05/04/1996 | TAIWAN             | Zona 2 | APPROACH | DESTROYED   | 17  | 6   |
| B757-225        | C | 06/02/1996 | DOMINICAN REPUBLIC | Zona 1 | CLIMB    | DESTROYED   | 189 | 189 |
| DHC6-300        | B | 01/02/1996 | NIGERIA            | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 14  | 0   |
| B757-223        | C | 20/12/1995 | COLOMBIA           | Zona 1 | APPROACH | DESTROYED   | 163 | 159 |
| MD83            | C | 12/11/1995 | U.S.A.             | Zona 2 | LANDING  | SUBSTANTIAL | 78  | 0   |
| DC9-31          | C | 26/07/1995 | LIBERIA            | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 91  | 0   |
| DHC6-300        | B | 17/07/1995 | INDONESIA          | Zona 1 | TAKE-OFF | DESTROYED   | 18  | 1   |
| TU134A          | C | 24/06/1995 | NIGERIA            | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 80  | 16  |
| DHC8-100        | B | 09/06/1995 | NEW ZEALAND        | Zona 3 | APPROACH | DESTROYED   | 21  | 4   |
| F28-1000        | B | 31/05/1995 | PAPUA NEW GUINEA   | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 39  | 0   |
| B737-200        | C | 02/02/1995 | BRAZIL             | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 126 | 0   |
| F28-4000        | B | 30/11/1994 | INDONESIA          | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 82  | 0   |
| DHC6            | A | 17/09/1994 | CANADA             | Zona 3 | CLIMB    | DESTROYED   | 4   | 3   |
| DHC6            | A | 13/09/1994 | NIGERIA            | Zona 1 | APPROACH | DESTROYED   | 5   | 3   |
| DC9-31          | C | 18/08/1994 | LIBERIA            | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 85  | 0   |
| B737-300        | C | 20/07/1994 | CHINA              | Zona 2 | LANDING  | DESTROYED   | 148 | 0   |
| DC10-30         | E | 26/11/1993 | BRAZIL             | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 121 | 0   |
| B747-400        | E | 04/11/1993 | HONG KONG          | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 296 | 0   |
| DHC6-300        | B | 27/10/1993 | NORWAY             | Zona 4 | APPROACH | DESTROYED   | 19  | 6   |
| F27-600         | B | 06/10/1993 | MYANMAR (BURMA)    | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 45  | 0   |
| B737-4Y0        | C | 27/09/1993 | U.K.               | Zona 3 | PARKED   | NONE        | 182 | 0   |
| B737-500        | C | 26/07/1993 | SOUTH KOREA        | Zona 2 | APPROACH | DESTROYED   | 110 | 68  |
| F28-3000        | B | 01/07/1993 | INDONESIA          | Zona 1 | DESCENT  | DESTROYED   | 43  | 41  |
| B747-400        | E | 02/05/1993 | JAPAN              | Zona 2 | TAXIING  | MINOR       | 490 | 0   |
| DC10-30         | E | 14/04/1993 | U.S.A.             | Zona 2 | LANDING  | DESTROYED   | 202 | 0   |
| DORNIER 228     | B | 28/02/1993 | TAIWAN             | Zona 2 | APPROACH | DESTROYED   | 6   | 6   |
| DHC8            | B | 06/01/1993 | FRANCE             | Zona 3 | APPROACH | DESTROYED   | 23  | 4   |
| DC10-30CF       | E | 21/12/1992 | PORTUGAL           | Zona 2 | APPROACH | DESTROYED   | 340 | 56  |
| BAC1-11-200     | B | 29/08/1992 | NIGERIA            | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 73  | 0   |
| VISCOUNT VC-2   | B | 24/07/1992 | INDONESIA          | Zona 1 | APPROACH | DESTROYED   | 70  | 70  |
| TU154           | C | 05/06/1992 | BULGARIA           | Zona 3 | LANDING  | DESTROYED   | 134 | 0   |
| B747-400        | E | 19/09/1991 | JAPAN              | Zona 2 | TAXIING  | MINOR       | 315 | 0   |
| MD88            | C | 05/05/1991 | U.S.A.             | Zona 2 | TAXIING  | SUBSTANTIAL | 112 | 0   |
| BAE ATP         | B | 23/12/1990 | U.K.               | Zona 3 | LANDING  | SUBSTANTIAL | 73  | 0   |
| DHC8-100        | B | 21/11/1990 | THAILAND           | Zona 1 | APPROACH | DESTROYED   | 38  | 38  |
| BEECH 1900      | B | 21/08/1990 | TAIWAN             | Zona 2 | FLIGHT   | DESTROYED   | 18  | 18  |
| L1011           | E | 24/03/1990 | JAPAN              | Zona 2 | LANDING  | SUBSTANTIAL | 301 | 0   |
| TRIDENT 2E      | C | 22/03/1990 | CHINA              | Zona 2 | LANDING  | DESTROYED   | 107 | 0   |
| GULFSTREAM I    | B | 29/01/1990 | U.K.               | Zona 3 | LANDING  | MINOR       | 10  | 0   |
| F28-4000        | B | 05/01/1990 | ARGENTINA          | Zona 2 | LANDING  | DESTROYED   | 90  | 0   |
| DORNIER 228-201 | B | 23/09/1989 | INDIA              | Zona 2 | DESCENT  | DESTROYED   | 11  | 11  |
| BAC1-11         | B | 21/07/1989 | PHILIPPINES        | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 98  | 0   |
| FH227B          | B | 10/04/1989 | FRANCE             | Zona 3 | APPROACH | DESTROYED   | 22  | 22  |
| B737            | C | 03/04/1989 | PERU               | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 139 | 0   |
| B737-300        | C | 25/02/1989 | BRAZIL             | Zona 1 | LANDING  | SUBSTANTIAL | 119 | 0   |
| B737            | C | 09/02/1989 | MOZAMBIQUE         | Zona 2 | LANDING  | DESTROYED   | 108 | 0   |
| SD330-100       | B | 25/10/1988 | U.K.               | Zona 3 | LANDING  | SUBSTANTIAL | 27  | 0   |
| TU134A          | C | 09/09/1988 | THAILAND           | Zona 1 | APPROACH | DESTROYED   | 90  | 76  |
| TRIDENT 2E      | C | 31/08/1988 | HONG KONG          | Zona 1 | LANDING  | DESTROYED   | 89  | 7   |
| SA227-AC        | B | 19/02/1988 | U.S.A.             | Zona 2 | CLIMB    | DESTROYED   | 12  | 12  |

|                   |   |            |                          |         |               |             |     |     |
|-------------------|---|------------|--------------------------|---------|---------------|-------------|-----|-----|
| B737-200          | C | 17/01/1988 | CANADA                   | Zona 3  | ABORTED       | SUBSTANTIAL | 38  | 0   |
| DC9-31            | C | 27/12/1987 | U.S.A.                   | Zona 2  | LANDING       | SUBSTANTIAL | 107 | 0   |
| YAK 40            | B | 19/06/1987 | U.S.S.R.                 | Zona 3  | GO-<br>AROUND | DESTROYED   | 29  | 8   |
| B737-222          | C | 25/10/1986 | U.S.A.                   | Zona 2  | LANDING       | DESTROYED   | 119 | 0   |
| F27               | B | 10/03/1986 | ICELAND                  | Zona 4  | ABORTED       | DESTROYED   | 45  | 0   |
| VISCOUNT          | B | 19/10/1985 | U.S.A.                   | Zona 2  | LANDING       | DESTROYED   | 28  | 0   |
| B747-237B         | E | 23/06/1985 | IRELAND                  | Zona 3  | FLIGHT        | DESTROYED   | 329 | 329 |
| A300B4-120        | D | 18/12/1983 | MALAYSIA                 | Zona 1  | APPROACH      | DESTROYED   | 247 | 0   |
| DC9-32            | C | 02/06/1983 | U.S.A.                   | Zona 2  | LANDING       | DESTROYED   | 46  | 23  |
| B727-235          | C | 09/07/1982 | U.S.A.                   | Zona 2  | CLIMB         | DESTROYED   | 145 | 145 |
| B737              | C | 24/05/1982 | BRAZIL                   | Zona 1  | LANDING       | DESTROYED   | 118 | 2   |
| F28-1000          | B | 20/03/1982 | INDONESIA                | Zona 1  | LANDING       | DESTROYED   | 27  | 27  |
| DHC6              | A | 21/02/1982 | U.S.A.                   | Zona 2  | LANDING       | DESTROYED   | 12  | 1   |
| DC10-10           | E | 03/02/1982 | U.S.A.                   | Zona 2  | TAKE-OFF      | MINOR       | 155 | 0   |
| DC9-30            | C | 27/07/1981 | MEXICO                   | Zona 2  | LANDING       | DESTROYED   | 66  | 30  |
| F27-600RF         | B | 20/07/1981 | SOMALIA                  | Zona 1  | CLIMB         | DESTROYED   | 50  | 50  |
| HS748             | B | 16/06/1981 | INDIA                    | Zona 2  | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 28  | 0   |
| BAC1-11-529FR     | C | 07/05/1981 | ARGENTINA                | Zona 2  | FLIGHT        | DESTROYED   | 31  | 31  |
| DC8-62            | D | 07/10/1979 | GREECE                   | Zona 2  | LANDING       | DESTROYED   | 154 | 14  |
| DHC6-300          | B | 29/08/1979 | CANADA                   | Zona 3  | APPROACH      | DESTROYED   | 9   | 9   |
| HS748-1-105       | B | 31/07/1979 | U.K.                     | Zona 3  | ABORTED       | DESTROYED   | 47  | 17  |
| F27-500C          | B | 17/02/1979 | NEW ZEALAND              | Zona 3  | APPROACH      | DESTROYED   | 4   | 2   |
| DC10-10           | E | 01/03/1978 | U.S.A.                   | Zona 2  | ABORTED       | DESTROYED   | 200 | 2   |
| B727-200          | C | 19/11/1977 | MADERIA                  | NO INFO | LANDING       | DESTROYED   | 164 | 131 |
| DHC6-200          | A | 06/09/1977 | U.S.A.                   | Zona 2  | FLIGHT        | DESTROYED   | 13  | 13  |
| BAC1-11           | B | 04/01/1977 | BRAZIL                   | Zona 1  | LANDING       | DESTROYED   | 42  | 0   |
| F27               | B | 04/11/1976 | INDONESIA                | Zona 1  | LANDING       | DESTROYED   | 38  | 29  |
| HERALD HPR7       | B | 24/12/1974 | JERSEY                   | Zona 3  | APPROACH      | DESTROYED   | 53  | 0   |
| B727-231          | C | 01/12/1974 | U.S.A.                   | Zona 2  | APPROACH      | DESTROYED   | 92  | 92  |
| C47-DL            | B | 12/08/1974 | COLOMBIA                 | Zona 1  | FLIGHT        | DESTROYED   | 27  | 27  |
| BAC1-11           | B | 02/02/1974 | BRAZIL                   | Zona 1  | LANDING       | DESTROYED   | 96  | 0   |
| B707-321B         | D | 30/01/1974 | AMERICAN<br>SAMOA        | Zona 3  | APPROACH      | DESTROYED   | 101 | 97  |
| CARAVELLE         | C | 22/12/1973 | MOROCCO                  | Zona 2  | DESCENT       | DESTROYED   | 106 | 106 |
| B737-222          | C | 28/10/1973 | U.S.A.                   | Zona 2  | LANDING       | SUBSTANTIAL | 96  | 0   |
| CV600 (240D)      | B | 27/09/1973 | U.S.A.                   | Zona 2  | FLIGHT        | DESTROYED   | 11  | 11  |
| B707-321          | D | 22/07/1973 | FRENCH<br>POLYNESIA      | Zona 3  | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 79  | 78  |
| VISCOUNT          | B | 15/05/1973 | BRAZIL                   | Zona 1  | LANDING       | DESTROYED   | 62  | 0   |
| B747              | E | 15/12/1972 | U.S.A.                   | Zona 2  | LANDING       | SUBSTANTIAL | 160 | 0   |
| F27-600           | B | 08/12/1972 | PAKISTAN                 | Zona 2  | FLIGHT        | DESTROYED   | 26  | 26  |
| DHC6              | A | 27/05/1972 | GERMANY                  | Zona 3  | CLIMB         | DESTROYED   | 13  | 8   |
| B727-193          | C | 04/09/1971 | U.S.A.                   | Zona 2  | APPROACH      | DESTROYED   | 111 | 111 |
| VISCOUNT          | B | 09/08/1971 | INDIA                    | Zona 2  | LANDING       | SUBSTANTIAL | 27  | 0   |
| TU134A            | C | 23/05/1971 | YUGOSLAVIA               | Zona 3  | LANDING       | DESTROYED   | 83  | 78  |
| DC8-63            | D | 29/01/1971 | AUSTRALIA                | Zona 2  | TAXIING       | SUBSTANTIAL | 148 | 0   |
| B727              | C | 29/01/1971 | AUSTRALIA                | Zona 2  | LANDING       | SUBSTANTIAL | 92  | 0   |
| DC8-63F           | D | 27/11/1970 | U.S.A.                   | Zona 2  | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 229 | 47  |
| DC9-31            | C | 14/11/1970 | U.S.A.                   | Zona 2  | APPROACH      | DESTROYED   | 75  | 75  |
| B727              | C | 07/05/1970 | U.S.A.                   | Zona 2  | LANDING       | SUBSTANTIAL | 47  | 0   |
| DC9-33F           | C | 02/05/1970 | VIRGIN<br>ISLANDS (U.S.) | Zona 2  | APPROACH      | DESTROYED   | 65  | 23  |
| DHC6-100          | A | 10/02/1970 | U.S.A.                   | Zona 2  | GO-<br>AROUND | DESTROYED   | 5   | 5   |
| FH227B            | B | 19/11/1969 | U.S.A.                   | Zona 2  | APPROACH      | DESTROYED   | 14  | 14  |
| HERON 2D<br>DH114 | B | 05/03/1969 | PUERTO RICO              | Zona 2  | APPROACH      | DESTROYED   | 19  | 19  |
| DC3               | B | 18/02/1969 | U.S.A.                   | Zona 2  | FLIGHT        | DESTROYED   | 35  | 35  |
| B727-22C          | C | 18/01/1969 | U.S.A.                   | Zona 2  | CLIMB         | DESTROYED   | 38  | 38  |
| B707-321C         | D | 12/06/1968 | INDIA                    | Zona 2  | APPROACH      | DESTROYED   | 63  | 6   |
| VISCOUNT          | B | 04/05/1968 | U.K.                     | Zona 3  | LANDING       | DESTROYED   | 83  | 0   |
| B720B             | D | 09/01/1968 | LEBANON                  | Zona 2  | LANDING       | DESTROYED   | 49  | 0   |
| CARAVELLE 10BIR   | C | 04/11/1967 | U.K.                     | Zona 3  | DESCENT       | DESTROYED   | 37  | 37  |
| CARAVELLE III     | C | 30/06/1967 | HONG KONG                | Zona 1  | APPROACH      | DESTROYED   | 80  | 24  |
| VISCOUNT          | B | 13/03/1967 | SOUTH AFRICA             | Zona 2  | APPROACH      | DESTROYED   | 25  | 25  |
| L188              | C | 16/02/1967 | INDONESIA                | Zona 1  | LANDING       | DESTROYED   | 92  | 22  |



**Tabla A2.6.** Accidentes aéreos causados por Icing o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno

| Aeronave          | Clase | Fecha      | Lugar       | Zona Climática | Fase de vuelo | Daños       | Accidentados | Fallecidos |
|-------------------|-------|------------|-------------|----------------|---------------|-------------|--------------|------------|
| DHC8-Q400         | B     | 12/02/2009 | U.S.A.      | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 49           | 49         |
| F100              | B     | 02/01/2008 | IRAN        | Zona 2         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 59           | 0          |
| CANADAIR RJ200-LR | B     | 12/04/2007 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 52           | 0          |
| EMB170            | B     | 18/02/2007 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 75           | 0          |
| F28-100           | B     | 25/01/2007 | FRANCE      | Zona 3         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 54           | 0          |
| JETSTREAM 31      | B     | 09/01/2007 | CANADA      | Zona 3         | LANDING       | DESTROYED   | 12           | 0          |
| B737-700          | C     | 08/12/2005 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 103          | 0          |
| A319-111          | C     | 10/10/2005 | U.S.A.      | Zona 2         | TAXIING       | MINOR       | 109          | 0          |
| CL600-2B19        | B     | 11/03/2005 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 12           | 0          |
| B737-724          | C     | 08/01/2005 | U.S.A.      | Zona 2         | PARKED        | SUBSTANTIAL | 73           | 0          |
| CL600-2A12        | B     | 28/11/2004 | U.S.A.      | Zona 2         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 6            | 3          |
| F70               | B     | 05/01/2004 | GERMANY     | Zona 3         | LANDING       | DESTROYED   | 32           | 0          |
| DHC6-200          | A     | 21/01/2003 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 10           | 0          |
| GULFSTREAM III    | B     | 29/03/2001 | U.S.A.      | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 18           | 18         |
| A320-200          | C     | 17/03/2001 | U.S.A.      | Zona 2         | ABORTED       | SUBSTANTIAL | 153          | 0          |
| CV580             | B     | 27/09/2000 | CANADA      | Zona 3         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 22           | 0          |
| YAK 40            | B     | 09/03/2000 | RUSSIA      | Zona 3         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 9            | 9          |
| BEECH 1900C       | B     | 04/01/1999 | CANADA      | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 14           | 0          |
| B727-200 ADV      | C     | 19/03/1998 | AFGHANISTAN | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 45           | 45         |
| JETSTREAM 31      | B     | 20/01/1998 | CANADA      | Zona 3         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 15           | 0          |
| MD81              | C     | 09/03/1997 | SWEDEN      | Zona 3         | LANDING       | MINOR       | 156          | 0          |
| IL76T             | D     | 25/01/1997 | RUSSIA      | Zona 3         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 25           | 0          |
| EMB120RT          | B     | 09/01/1997 | U.S.A.      | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 29           | 29         |
| SA227-AC          | B     | 05/01/1997 | U.S.A.      | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 21           | 0          |
| YAK 40            | B     | 26/10/1996 | RUSSIA      | Zona 3         | LANDING       | DESTROYED   | 34           | 5          |
| DC9-32            | C     | 07/01/1996 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 93           | 0          |
| BAC1-11-500       | C     | 30/12/1995 | TURKEY      | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 81           | 0          |
| B747-136          | E     | 20/12/1995 | U.S.A.      | Zona 2         | ABORTED       | SUBSTANTIAL | 468          | 0          |
| B737-4YO          | C     | 29/12/1994 | TURKEY      | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 76           | 57         |
| MD82              | C     | 02/03/1994 | U.S.A.      | Zona 2         | ABORTED       | SUBSTANTIAL | 116          | 0          |
| JETSTREAM 4101    | B     | 07/01/1994 | U.S.A.      | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 8            | 5          |
| JETSTREAM 3100    | B     | 01/12/1993 | U.S.A.      | Zona 2         | DESCENT       | DESTROYED   | 18           | 18         |
| HS748-234         | B     | 10/11/1993 | CANADA      | Zona 3         | CLIMB         | DESTROYED   | 7            | 7          |
| F100              | B     | 05/03/1993 | YUGOSLAVIA  | Zona 3         | CLIMB         | DESTROYED   | 97           | 83         |
| SAAB SF340A       | B     | 02/01/1993 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 31           | 0          |
| F28-4000 a        | B     | 22/03/1992 | U.S.A.      | Zona 2         | ABORTED       | DESTROYED   | 51           | 27         |
| A320-100          | C     | 20/01/1992 | FRANCE      | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 96           | 87         |
| MD81              | C     | 27/12/1991 | SWEDEN      | Zona 3         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 129          | 0          |
| SA226-TC          | B     | 30/01/1990 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 21           | 0          |
| SA227-AC          | B     | 15/01/1990 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 16           | 0          |
| AN24              | B     | 21/11/1989 | U.S.S.R.    | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 40           | 32         |
| F28-1000          | B     | 10/03/1989 | CANADA      | Zona 3         | CLIMB         | DESTROYED   | 69           | 24         |
| SA227-AC          | B     | 19/01/1988 | U.S.A.      | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 17           | 9          |
| DC9-14            | C     | 15/11/1987 | U.S.A.      | Zona 2         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 82           | 28         |
| DC9-31            | C     | 21/02/1986 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 23           | 0          |
| F27-200           | B     | 05/02/1986 | U.K.        | Zona 3         | ABORTED       | SUBSTANTIAL | 33           | 0          |
| DC8-63            | D     | 12/12/1985 | CANADA      | Zona 3         | TAKE-OFF      | DESTROYED   | 256          | 256        |
| TU134A            | C     | 10/01/1984 | BULGARIA    | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 50           | 50         |
| DHC6-200          | A     | 17/12/1983 | CANADA      | Zona 3         | GO-AROUND     | DESTROYED   | 12           | 2          |
| DHC6              | A     | 23/11/1983 | CANADA      | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 7            | 4          |
| YS11              | B     | 11/03/1983 | JAPAN       | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 53           | 0          |
| DC9-30            | C     | 11/03/1983 | VENEZUELA   | Zona 1         | LANDING       | DESTROYED   | 50           | 23         |
| B727-200          | C     | 16/01/1983 | TURKEY      | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 67           | 47         |
| CV580-11-A        | B     | 09/01/1983 | U.S.A.      | Zona 2         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 33           | 1          |
| SA226-TC          | B     | 15/01/1982 | U.S.A.      | Zona 2         | TAKE-OFF      | SUBSTANTIAL | 15           | 0          |
| B737-222          | C     | 13/01/1982 | U.S.A.      | Zona 2         | CLIMB         | DESTROYED   | 79           | 74         |
| B727-100          | C     | 21/01/1980 | IRAN        | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 128          | 128        |
| DHC6-300          | B     | 04/12/1978 | U.S.A.      | Zona 2         | FLIGHT        | DESTROYED   | 22           | 2          |

|              |   |            |                 |        |           |             |     |     |
|--------------|---|------------|-----------------|--------|-----------|-------------|-----|-----|
| B737-275     | C | 11/02/1978 | CANADA          | Zona 3 | GO-AROUND | DESTROYED   | 49  | 43  |
| B727-81      | C | 05/04/1976 | U.S.A.          | Zona 2 | GO-AROUND | DESTROYED   | 50  | 1   |
| B747-246     | E | 16/12/1975 | U.S.A.          | Zona 2 | TAXIING   | SUBSTANTIAL | 121 | 0   |
| B737-200     | C | 31/03/1975 | U.S.A.          | Zona 2 | LANDING   | SUBSTANTIAL | 99  | 0   |
| VANGUARD 952 | C | 10/04/1973 | SWITZERLAND     | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 145 | 108 |
| TU154        | C | 19/02/1973 | CZECHOSLOVA KIA | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 100 | 66  |
| FH227B       | B | 03/03/1972 | U.S.A.          | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 48  | 16  |
| JETSTREAM 1  | B | 06/03/1970 | SWITZERLAND     | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 11  | 11  |
| CV240        | B | 17/01/1970 | U.S.A.          | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 52  | 0   |
| AN24V        | B | 02/04/1969 | POLAND          | Zona 3 | NO INFO   | DESTROYED   | 53  | 53  |
| VISCOUNT 736 | B | 20/02/1969 | U.K.            | Zona 3 | LANDING   | DESTROYED   | 53  | 0   |
| CV580        | B | 06/01/1969 | U.S.A.          | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 28  | 11  |
| CV580        | B | 24/12/1968 | U.S.A.          | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 47  | 20  |
| CV880        | C | 20/11/1967 | U.S.A.          | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 82  | 70  |
| C46T         | B | 15/05/1967 | CANADA          | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 4   | 4   |
| F27          | B | 10/03/1967 | U.S.A.          | Zona 2 | CLIMB     | DESTROYED   | 4   | 4   |

**Tabla A2.7.** Accidentes aéreos causados por tormentas o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno

| Aeronave    | Clase | Fecha      | Lugar               | Zona Climática | Fase de vuelo | Daños       | Accidentados | Fallecidos |
|-------------|-------|------------|---------------------|----------------|---------------|-------------|--------------|------------|
| DHC6-300    | B     | 11/08/2009 | PAPUA NEW GUINEA    | Zona 1         | APPROACH      | DESTROYED   | 13           | 13         |
| B737-800    | C     | 05/05/2007 | CAMEROON            | Zona 1         | CLIMB         | DESTROYED   | 114          | 114        |
| B737-4Q8    | C     | 01/01/2007 | INDONESIA           | Zona 1         | FLIGHT        | DESTROYED   | 102          | 102        |
| DC9-31      | C     | 10/12/2005 | NIGERIA             | Zona 1         | APPROACH      | DESTROYED   | 110          | 108        |
| SA226-AT    | B     | 10/10/2001 | SPAIN               | Zona 2         | FLIGHT        | DESTROYED   | 10           | 10         |
| MD81        | C     | 21/07/2001 | FINLAND             | Zona 4         | DESCENT       | SUBSTANTIAL | 69           | 0          |
| DC9-82      | C     | 29/11/2000 | U.S.A.              | Zona 2         | CLIMB         | MINOR       | 66           | 0          |
| B757-204    | C     | 14/09/1999 | SPAIN               | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 245          | 1          |
| MD82        | C     | 01/06/1999 | U.S.A.              | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 145          | 11         |
| DHC6        | A     | 08/05/1999 | VANUATU             | Zona 1         | APPROACH      | DESTROYED   | 12           | 7          |
| B727-23     | C     | 22/04/1999 | SOUTH AFRICA        | Zona 2         | DESCENT       | DESTROYED   | 66           | 0          |
| DHC6-300    | B     | 28/09/1998 | CAPE VERDE          | Zona 1         | APPROACH      | DESTROYED   | 22           | 1          |
| DC9-32      | C     | 10/10/1997 | URUGUAY             | Zona 2         | DESCENT       | DESTROYED   | 74           | 74         |
| AN24        | B     | 03/05/1996 | SUDAN               | Zona 1         | APPROACH      | DESTROYED   | 53           | 53         |
| F27-400M    | B     | 09/11/1995 | ARGENTINA           | Zona 2         | FLIGHT        | DESTROYED   | 53           | 53         |
| B737-2H6    | C     | 09/08/1995 | EL SALVADOR         | Zona 1         | APPROACH      | DESTROYED   | 65           | 65         |
| EMB110P1    | B     | 24/05/1995 | U.K.                | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 12           | 12         |
| DHC6-300    | B     | 23/04/1995 | NIGERIA             | Zona 1         | LANDING       | DESTROYED   | 9            | 1          |
| A300B4-622R | D     | 10/08/1994 | SOUTH KOREA         | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 160          | 0          |
| DC9-31      | C     | 02/07/1994 | U.S.A.              | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 57           | 37         |
| MD82        | C     | 26/10/1993 | CHINA               | Zona 2         | LANDING       | DESTROYED   | 80           | 2          |
| A320-211    | C     | 14/09/1993 | POLAND              | Zona 3         | LANDING       | DESTROYED   | 70           | 2          |
| B737        | C     | 18/07/1993 | NICARAGUA           | Zona 1         | LANDING       | DESTROYED   | 94           | 0          |
| B727-46     | C     | 19/05/1993 | COLOMBIA            | Zona 1         | DESCENT       | DESTROYED   | 134          | 134        |
| YAK 40      | B     | 14/11/1992 | VIETNAM             | Zona 1         | LANDING       | DESTROYED   | 30           | 30         |
| CASA 235-10 | B     | 18/10/1992 | INDONESIA           | Zona 1         | DESCENT       | DESTROYED   | 31           | 31         |
| B737-204    | C     | 06/06/1992 | PANAMA              | Zona 1         | DESCENT       | DESTROYED   | 47           | 47         |
| DHC6-300    | B     | 12/03/1992 | CONGO (REPUBLIC OF) | Zona 1         | FLIGHT        | DESTROYED   | 8            | 3          |
| CASA 212    | B     | 30/01/1991 | INDONESIA           | Zona 1         | LANDING       | DESTROYED   | 21           | 1          |
| IL62M       | D     | 03/09/1989 | CUBA                | Zona 1         | CLIMB         | DESTROYED   | 126          | 125        |
| HS748       | B     | 28/06/1989 | CAMEROON            | Zona 1         | LANDING       | DESTROYED   | 47           | 3          |
| SA227-AC    | B     | 08/02/1988 | GERMANY             | Zona 3         | APPROACH      | DESTROYED   | 21           | 21         |
| A310-221    | D     | 08/09/1987 | NIGERIA             | Zona 1         | LANDING       | SUBSTANTIAL | 109          | 0          |
| L1011-385-1 | E     | 02/08/1985 | U.S.A.              | Zona 2         | APPROACH      | DESTROYED   | 163          | 134        |
| DC6B        | C     | 24/07/1985 | COLOMBIA            | Zona 1         | CLIMB         | DESTROYED   | 80           | 80         |
| IL62        | D     | 19/09/1984 | PAKISTAN            | Zona 2         | FLIGHT        | DESTROYED   | 24           | 24         |

|                 |   |            |             |        |           |             |     |     |
|-----------------|---|------------|-------------|--------|-----------|-------------|-----|-----|
| HS748-2A        | B | 11/10/1983 | U.S.A.      | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 10  | 10  |
| DHC6-300        | B | 10/03/1983 | AFGHANISTAN | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 19  | 19  |
| VISCOUNT        | B | 26/03/1982 | COLOMBIA    | Zona 1 | FLIGHT    | DESTROYED   | 21  | 21  |
| DC3A            | B | 12/09/1980 | BAHAMAS     | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 34  | 34  |
| SA226-TC        | B | 12/06/1980 | U.S.A.      | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 15  | 13  |
| B737            | C | 10/05/1980 | INDIA       | Zona 2 | FLIGHT    | SUBSTANTIAL | 134 | 2   |
| HS748 SERIES II | B | 27/04/1980 | THAILAND    | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 53  | 44  |
| B727-200        | C | 14/03/1979 | QATAR       | Zona 2 | GO-AROUND | DESTROYED   | 64  | 44  |
| DC8-63F         | D | 15/11/1978 | SRI LANKA   | Zona 1 | APPROACH  | DESTROYED   | 262 | 183 |
| DC9-31          | C | 04/04/1977 | U.S.A.      | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 85  | 62  |
| HERON 2E/A1     | B | 23/10/1975 | AUSTRALIA   | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 11  | 11  |
| VISCOUNT        | B | 31/07/1975 | TAIWAN      | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 75  | 27  |
| B727-225        | C | 24/06/1975 | U.S.A.      | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 124 | 113 |
| DC9-32          | C | 27/11/1973 | U.S.A.      | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 79  | 0   |
| FH227B          | B | 23/07/1973 | U.S.A.      | Zona 2 | APPROACH  | DESTROYED   | 44  | 38  |
| VISCOUNT        | B | 27/10/1972 | FRANCE      | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 68  | 60  |
| DC9-31          | C | 18/05/1972 | U.S.A.      | Zona 2 | LANDING   | DESTROYED   | 10  | 0   |
| L188            | C | 24/12/1971 | PERU        | Zona 1 | FLIGHT    | DESTROYED   | 92  | 91  |
| F27-200         | B | 06/08/1970 | PAKISTAN    | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 30  | 30  |
| F27             | B | 25/01/1970 | INDIA       | Zona 2 | APPROACH  | SUBSTANTIAL | 23  | 1   |
| F27-200         | B | 21/04/1969 | PAKISTAN    | Zona 2 | FLIGHT    | DESTROYED   | 44  | 44  |
| IL18            | C | 03/09/1968 | BULGARIA    | Zona 3 | APPROACH  | DESTROYED   | 89  | 47  |
| DC8             | D | 06/08/1968 | U.S.A.      | Zona 2 | FLIGHT    | SUBSTANTIAL | 116 | 0   |
| L188A           | C | 03/05/1968 | U.S.A.      | Zona 2 | DESCENT   | DESTROYED   | 85  | 85  |
| F27             | B | 08/03/1968 | PHILIPPINES | Zona 1 | FLIGHT    | DESTROYED   | 14  | 14  |

**Tabla A2.8.** Accidentes aéreos causados por turbulencias o en los que aparece como causa contributiva este fenómeno

| Aeronave       | Clase | Fecha      | Lugar        | Zona Climática | Fase de vuelo | Daños | Accidentados | Fallecidos |
|----------------|-------|------------|--------------|----------------|---------------|-------|--------------|------------|
| B767-432ER     | D     | 27/10/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 126          | 0          |
| B767-3P6       | D     | 05/10/2009 | NO INFO      | NO INFO        | FLIGHT        | NONE  | 232          | 0          |
| B717-200       | C     | 27/08/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | CLIMB         | NONE  | 86           | 0          |
| DHC8-311       | B     | 05/08/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | FLIGHT        | NONE  | 33           | 0          |
| CANADAI R J200 | B     | 04/08/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | FLIGHT        | NONE  | 27           | 0          |
| EMB170         | B     | 11/07/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | APPROACH      | NONE  | 84           | 0          |
| A320-232       | C     | 10/07/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | APPROACH      | NONE  | 153          | 0          |
| B767           | D     | 20/05/2009 | PUERTO RICO  | Zona 2         | FLIGHT        | NONE  | 268          | 0          |
| B757-232       | C     | 16/05/2009 | CUBA         | Zona 1         | FLIGHT        | NONE  | 188          | 0          |
| B737-724       | C     | 18/04/2009 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 109          | 0          |
| B747-400       | E     | 20/02/2009 | JAPAN        | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 422          | 0          |
| EMB170-10      | B     | 26/12/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 77           | 0          |
| EMB140LR       | B     | 27/05/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | FLIGHT        | NONE  | 25           | 0          |
| B737-823       | C     | 06/04/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 148          | 0          |
| B737-700       | C     | 22/02/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | APPROACH      | NONE  | 103          | 0          |
| DHC8-202       | B     | 03/02/2008 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 22           | 0          |
| DC9-83         | C     | 25/12/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 114          | 0          |
| A330-323       | E     | 25/12/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | FLIGHT        | NONE  | 295          | 0          |
| B767-300       | D     | 27/10/2007 | JAPAN        | Zona 2         | APPROACH      | MINOR | 246          | 0          |
| EMB145LR       | B     | 07/08/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 39           | 0          |
| B737-724       | C     | 02/08/2007 | PANAMA       | Zona 1         | DESCENT       | NONE  | 121          | 0          |
| B737-800       | C     | 08/07/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | CLIMB         | NONE  | 104          | 0          |
| B747-422       | E     | 27/06/2007 | AUSTRALIA    | Zona 2         | FLIGHT        | NONE  | 283          | 0          |
| B757-251       | C     | 03/06/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | APPROACH      | NONE  | 173          | 0          |
| ATR72-212      | B     | 28/04/2007 | PUERTO RICO  | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 53           | 0          |
| B737-300       | C     | 25/04/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 103          | 0          |
| B757-200       | C     | 12/04/2007 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 112          | 0          |
| B777-200       | E     | 23/02/2007 | (NEAR) JAPAN | Zona 2         | FLIGHT        | NONE  | 104          | 0          |
| B737-700       | C     | 16/09/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | FLIGHT        | NONE  | 142          | 0          |
| A319-131       | C     | 07/07/2006 | U.S.A.       | Zona 2         | DESCENT       | NONE  | 111          | 0          |

|                        |   |            |  |         |          |             |     |   |
|------------------------|---|------------|--|---------|----------|-------------|-----|---|
| MD81                   | C | 04/07/2006 | JAPAN                                      | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 152 | 0 |
| EMB145LR               | B | 13/05/2006 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 46  | 0 |
| B777-233ER             | E | 25/04/2006 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 254 | 0 |
| B737-900<br>CL600-2B19 | C | 19/04/2006 | SOUTH KOREA                                | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR       | 159 | 0 |
|                        | B | 15/04/2006 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 51  | 0 |
| B757-222               | C | 15/03/2006 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 98  | 0 |
| B737-832               | C | 22/10/2005 | BERMUDA                                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 150 | 0 |
| B747-400               | E | 14/07/2005 | ABOVE<br>BORNEO<br>ISLAND<br>(KEVOK POINT) | NO INFO | FLIGHT   | MINOR       | 272 | 0 |
| B767-232               | D | 11/07/2005 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 187 | 0 |
| A319-114               | C | 10/06/2005 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | MINOR       | 127 | 0 |
| B757-223               | C | 05/06/2005 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 162 | 0 |
| B737-400               | C | 29/04/2005 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 20  | 0 |
| SAAB SF340B            | B | 11/02/2005 | U.S.A.                                     | Zona 2  | APPROACH | NONE        | 31  | 0 |
| B767-232               | D | 29/09/2004 | CARIBBEAN<br>SEA                           | Zona 1  | APPROACH | NONE        | 145 | 0 |
| B737-3H4               | C | 13/09/2004 | U.S.A.                                     | Zona 2  | APPROACH | NONE        | 47  | 0 |
| B747-400               | E | 31/08/2004 | JAPAN                                      | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 560 | 0 |
| A330-300               | E | 11/08/2004 | SOUTH KOREA                                | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR       | 356 | 0 |
| A319                   | C | 17/07/2004 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 111 | 0 |
| MD82                   | C | 15/07/2004 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 30  | 0 |
| B737-7H4               | C | 04/06/2004 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 136 | 0 |
| MD82                   | C | 26/05/2004 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 88  | 0 |
| B737-700               | C | 14/04/2004 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 122 | 0 |
| B737-300               | C | 10/04/2004 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 109 | 0 |
| B757-200               | C | 01/03/2004 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 176 | 0 |
| B747-300               | E | 26/02/2004 | OVER<br>ATLANTIC<br>OCEAN<br>TROPICS       | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 420 | 0 |
| B737-500               | C | 01/11/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 97  | 0 |
| JETSTREAM 31           | B | 17/09/2003 | U.K.                                       | Zona 3  | LANDING  | SUBSTANTIAL | 7   | 0 |
| B737-800               | C | 16/08/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 135 | 0 |
| MD81                   | C | 07/08/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 118 | 0 |
| A340-300               | E | 06/08/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR       | 258 | 0 |
| MD82                   | C | 03/08/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 133 | 0 |
| A330-342               | E | 18/07/2003 | MANILLA FIR                                | Zona 1  | FLIGHT   | MINOR       | 251 | 0 |
| B777-222               | D | 17/07/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 270 | 0 |
| EMB145LR               | B | 18/06/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 53  | 0 |
| MD82                   | C | 12/06/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 134 | 0 |
| A320-321               | C | 05/06/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | CLIMB    | NONE        | 141 | 0 |
| A321-231               | C | 26/05/2003 | AUSTRIA                                    | Zona 3  | FLIGHT   | SUBSTANTIAL | 221 | 0 |
| DORNIER 328-300        | B | 24/04/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 8   | 0 |
| B757-222               | C | 21/04/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 186 | 0 |
| B737-924               | C | 06/04/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 90  | 0 |
| A319-111               | C | 05/04/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | CLIMB    | NONE        | 64  | 0 |
| ATR42-300              | B | 19/03/2003 | DOMINICAN<br>REPUBLIC                      | Zona 1  | FLIGHT   | NONE        | 41  | 0 |
| ATR72-212              | B | 01/03/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 16  | 0 |
| B777-223               | D | 25/02/2003 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 133 | 0 |
| MD82                   | C | 06/11/2002 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 76  | 0 |
| B747-400D              | E | 21/10/2002 | JAPAN                                      | Zona 2  | DESCENT  | MINOR       | 556 | 0 |
| B767-300               | D | 27/09/2002 | JAPAN                                      | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 296 | 0 |
| B757                   | C | 29/05/2002 | U.S.A.                                     | Zona 2  | APPROACH | NONE        | 92  | 0 |
| B757                   | C | 18/04/2002 | U.S.A.                                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 127 | 0 |
| A319-114               | C | 15/04/2002 | U.S.A.                                     | Zona 2  | APPROACH | NONE        | 68  | 0 |
| B747<br>DC10           | E | 01/04/2002 | ATLANTIC                                   | Zona 2  | CLIMB    | NONE        | 214 | 0 |
|                        | E | 22/03/2002 | INTERNATION<br>AL WATERS                   | NO INFO | FLIGHT   | NONE        | 262 | 0 |
| B737                   | C | 19/02/2002 | U.S.A.                                     | Zona 2  | CLIMB    | NONE        | 75  | 0 |
| B737-2A3               | C | 11/02/2002 | URUGUAY                                    | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR       | 76  | 0 |
| MD82                   | C | 30/11/2001 | CANADA                                     | Zona 3  | FLIGHT   | NONE        | 90  | 0 |
| B767-332               | D | 07/09/2001 | ARGENTINA                                  | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 90  | 0 |
| EMB135                 | B | 30/08/2001 | U.S.A.                                     | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 29  | 0 |



|                 |   |            |                       |         |          |             |     |    |
|-----------------|---|------------|-----------------------|---------|----------|-------------|-----|----|
| A320-232        | C | 20/08/2001 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 140 | 0  |
| B737-500        | C | 09/08/2001 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 130 | 0  |
| DC9-51          | C | 25/07/2001 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 97  | 0  |
| B757-200        | C | 05/06/2001 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 152 | 0  |
| B737-301        | C | 28/05/2001 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 121 | 0  |
| ATR42-300       | B | 26/04/2001 | ATLANTIC OCEAN        | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 12  | 0  |
| A320-232        | C | 19/04/2001 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 126 | 0  |
| B737-200        | C | 17/04/2001 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 77  | 0  |
| DORNIER 328-100 | B | 09/04/2001 | U.S.A.                | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 14  | 0  |
| ATR72           | B | 20/11/2000 | U.S.A.                | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 40  | 0  |
| B767-300        | D | 20/09/2000 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 250 | 0  |
| B757-200        | C | 23/08/2000 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR       | 68  | 0  |
| ATR72           | B | 10/03/2000 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 27  | 0  |
| B737-300        | C | 09/06/1999 | CHINA                 | Zona 2  | LANDING  | DESTROYED   | 90  | 0  |
| DC9-32          | C | 07/05/1998 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | SUBSTANTIAL | 87  | 0  |
| DHC6-300        | B | 10/05/1997 | SAO TOME AND PRINCIPE | Zona 1  | LANDING  | DESTROYED   | 17  | 0  |
| B747-400        | E | 05/09/1996 | BURKINA FASO          | Zona 1  | FLIGHT   | MINOR       | 224 | 1  |
| DHC6-200        | A | 10/05/1996 | MEXICO                | Zona 2  | APPROACH | DESTROYED   | 19  | 16 |
| B747-422        | E | 17/10/1995 | NR. 040N152E          | NO INFO | FLIGHT   | NONE        | 337 | 0  |
| MD88            | C | 06/01/1995 | U.S.A.                | Zona 2  | CLIMB    | NONE        | 71  | 0  |
| B737-100        | C | 19/11/1993 | PANAMA                | Zona 1  | LANDING  | DESTROYED   | 92  | 0  |
| B747            | E | 27/10/1993 | PACIFIC OCEAN         | Zona 1  | FLIGHT   | MINOR       | 130 | 0  |
| B767-300        | D | 22/10/1993 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 108 | 0  |
| B747            | E | 27/08/1993 | ITALY                 | Zona 2  | DESCENT  | MINOR       | 134 | 0  |
| B767-322ER      | D | 16/07/1993 | VENEZUELA             | Zona 1  | FLIGHT   | NONE        | 164 | 0  |
| B747            | E | 16/07/1993 | NEAR SINGAPORE        | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 280 | 0  |
| AN26            | B | 17/06/1993 | GEORGIA               | Zona 3  | FLIGHT   | DESTROYED   | 41  | 41 |
| B757-232        | C | 26/04/1993 | U.S.A.                | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 62  | 0  |
| DC9-41          | C | 18/04/1993 | JAPAN                 | Zona 2  | LANDING  | DESTROYED   | 78  | 0  |
| DHC8-102        | B | 23/03/1993 | U.S.A.                | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 22  | 0  |
| DHC7-102        | B | 05/03/1993 | U.S.A.                | Zona 2  | APPROACH | NONE        | 12  | 0  |
| B767            | D | 17/02/1993 | JAPAN                 | Zona 2  | APPROACH | NONE        | 168 | 0  |
| B767-323ER      | D | 05/01/1993 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR       | 224 | 0  |
| B747            | E | 27/09/1992 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 179 | 0  |
| DC10            | E | 12/09/1992 | HONG KONG             | Zona 1  | DESCENT  | NONE        | 274 | 0  |
| B767-200        | D | 31/07/1992 | GERMANY               | Zona 3  | FLIGHT   | MINOR       | 168 | 0  |
| DHC6            | A | 19/07/1992 | CANADA                | Zona 3  | LANDING  | DESTROYED   | 6   | 0  |
| F27-200         | B | 08/07/1992 | U.K.                  | Zona 3  | APPROACH | NONE        | 33  | 0  |
| B727-200        | C | 02/07/1992 | U.S.A.                | Zona 2  | DESCENT  | NONE        | 137 | 0  |
| GULFSTREAM 1C   | B | 22/06/1992 | ITALY                 | Zona 2  | ABORTED  | DESTROYED   | 18  | 0  |
| AN24B           | B | 22/02/1992 | PERU                  | Zona 1  | LANDING  | DESTROYED   | 45  | 0  |
| A320            | C | 25/07/1991 | FRANCE                | Zona 3  | FLIGHT   | NONE        | 222 | 0  |
| B757-232        | C | 04/07/1991 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 125 | 0  |
| A300-605R       | D | 01/07/1991 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 216 | 0  |
| B767-287ER      | D | 04/05/1991 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 116 | 0  |
| B727-222        | C | 23/03/1991 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 43  | 0  |
| B727-277        | C | 31/10/1990 | AUSTRALIA             | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 148 | 0  |
| B767-300        | D | 26/10/1990 | JAPAN                 | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 251 | 0  |
| DC9-30          | C | 03/10/1990 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 97  | 1  |
| B747            | E | 14/07/1990 | U.S.A.                | Zona 2  | APPROACH | NONE        | 134 | 0  |
| B767-200 c      | D | 26/04/1990 | NEW ZEALAND           | Zona 3  | FLIGHT   | NONE        | 72  | 0  |
| DC9-31          | C | 10/03/1990 | ATLANTIC OCEAN        | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 100 | 1  |
| DC10-10         | E | 20/01/1990 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR       | 147 | 0  |
| F28-4000        | B | 19/08/1989 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 14  | 0  |
| F28-4000        | B | 27/05/1989 | AUSTRALIA             | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 23  | 0  |
| A300B4-203      | D | 10/05/1989 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 94  | 0  |
| B747SP-21       | E | 23/12/1988 | PACIFIC OCEAN         | Zona 1  | FLIGHT   | NONE        | 224 | 0  |
| B767            | D | 07/09/1988 | NEW ZEALAND           | Zona 3  | DESCENT  | NONE        | 212 | 0  |
| B767            | D | 26/08/1988 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 65  | 0  |
| B737            | C | 26/06/1988 | U.S.A.                | Zona 2  | FLIGHT   | NONE        | 107 | 0  |

|                |   |            |                           |         |          |           |     |   |
|----------------|---|------------|---------------------------|---------|----------|-----------|-----|---|
| B767-332       | D | 25/01/1988 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 155 | 0 |
| B767-200       | D | 19/01/1988 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 147 | 0 |
| MD82           | C | 19/01/1988 | U.S.A.                    | Zona 2  | CLIMB    | NONE      | 97  | 0 |
| B747-211B      | E | 18/01/1988 | UNITED ARAB<br>EMIRATES   | Zona 2  | CLIMB    | NONE      | 163 | 0 |
| JETSTREAM 3101 | B | 14/12/1987 | U.S.A.                    | Zona 2  | LANDING  | DESTROYED | 8   | 0 |
| MD80           | C | 09/12/1987 | JAPAN                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 104 | 0 |
| B737-232       | C | 10/11/1987 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 66  | 0 |
| B737           | C | 18/09/1987 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 81  | 0 |
| B727-200       | C | 17/09/1987 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 71  | 0 |
| B747-338       | E | 02/08/1987 | GUAM                      | Zona 1  | FLIGHT   | MINOR     | 349 | 0 |
| DC9            | C | 11/05/1987 | JAPAN                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 59  | 0 |
| A300B4-203     | D | 29/03/1987 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 247 | 0 |
| B737-300       | C | 16/03/1987 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 59  | 0 |
| DC10           | E | 12/02/1987 | BRAZIL                    | Zona 1  | DESCENT  | NONE      | 209 | 0 |
| B727           | C | 15/12/1986 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | MINOR     | 102 | 0 |
| B727-224       | C | 05/08/1986 | NEAR GULF OF<br>MEXICO    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 103 | 0 |
| MD80           | C | 02/08/1986 | BOUSO<br>PENINSULAR       | NO INFO | FLIGHT   | NONE      | 104 | 0 |
| B737           | C | 26/07/1986 | INDIA                     | Zona 2  | LANDING  | NONE      | 87  | 0 |
| DC9-31         | C | 21/07/1986 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 41  | 0 |
| A300B4-2C      | D | 13/07/1986 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 243 | 0 |
| DC10           | E | 03/07/1986 | JAPAN                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 144 | 0 |
| B737           | C | 03/07/1986 | CANADA                    | Zona 3  | FLIGHT   | NONE      | 74  | 0 |
| B737           | C | 02/07/1986 | CANADA                    | Zona 3  | FLIGHT   | NONE      | 6   | 0 |
| L188           | C | 23/06/1986 | CANADA                    | Zona 3  | FLIGHT   | NONE      | 29  | 0 |
| SD330          | B | 21/05/1986 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 11  | 0 |
| B737-200       | C | 04/05/1986 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 52  | 0 |
| DC10           | E | 07/04/1986 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | MINOR     | 83  | 0 |
| B747-122       | E | 03/03/1986 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 340 | 0 |
| B737           | C | 03/11/1985 | U.S.A.                    | Zona 2  | CLIMB    | NONE      | 60  | 0 |
| B747           | E | 11/09/1985 | NORTH<br>PACIFIC<br>OCEAN | Zona 1  | FLIGHT   | NONE      | 353 | 0 |
| B737-201       | C | 16/06/1985 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 45  | 0 |
| A300B4-2C      | D | 28/05/1985 | 530 NM N OF               | NO INFO | FLIGHT   | NONE      | 74  | 0 |
| B727-223       | C | 23/04/1985 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 72  | 0 |
| B747           | E | 22/01/1985 | OVER<br>GREENLAND         | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 134 | 0 |
| B747           | E | 23/10/1984 | EN-ROUTE                  | NO INFO | FLIGHT   | NONE      | 134 | 0 |
| DC8-71         | D | 19/10/1984 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 96  | 0 |
| DC9            | C | 25/07/1984 | GEORGIA                   | Zona 3  | FLIGHT   | NONE      | 100 | 0 |
| DC8            | D | 24/07/1984 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 154 | 0 |
| DC8-61         | D | 10/07/1984 | NORTH<br>PACIFIC<br>OCEAN | Zona 1  | CLIMB    | NONE      | 172 | 0 |
| DC8            | D | 23/04/1984 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 192 | 0 |
| B727           | C | 04/03/1984 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR     | 48  | 0 |
| B737           | C | 29/12/1983 | U.S.A.                    | Zona 2  | CLIMB    | NONE      | 45  | 0 |
| DHC7-102       | B | 22/12/1983 | U.S.A.                    | Zona 2  | APPROACH | NONE      | 27  | 0 |
| B747           | E | 01/10/1983 | JAPAN                     | Zona 2  | CLIMB    | NONE      | 240 | 0 |
| BAC1-11        | B | 06/09/1983 | GREEN<br>CANYON           | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 71  | 0 |
| BAC1-11        | B | 09/06/1983 | GULF OF<br>MEXICO         | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 71  | 0 |
| B727           | C | 07/01/1983 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 37  | 0 |
| B737           | C | 02/11/1982 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 68  | 0 |
| B727           | C | 02/09/1982 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 130 | 0 |
| B747           | E | 16/08/1982 | NR HONG<br>KONG           | Zona 1  | FLIGHT   | NONE      | 304 | 2 |
| DC9-15         | C | 22/05/1982 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 57  | 0 |
| DC8-61         | D | 25/04/1982 | NEAR HONG<br>KONG         | Zona 1  | FLIGHT   | NONE      | 207 | 0 |
| B747           | E | 06/01/1982 | AMERICAN                  | Zona 3  | FLIGHT   | NONE      | 269 | 0 |
| B727           | C | 23/10/1981 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 3   | 0 |

|                    |   |            |                           |         |          |           |     |    |
|--------------------|---|------------|---------------------------|---------|----------|-----------|-----|----|
| F28                | B | 06/10/1981 | NEAR<br>ROTTERDAM         | Zona 3  | FLIGHT   | DESTROYED | 17  | 17 |
| BAC1-11            | B | 30/06/1981 | NEAR<br>PITTSBURGH        | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 70  | 0  |
| A300               | D | 03/06/1981 | NO INFO                   | NO INFO | FLIGHT   | NONE      | 169 | 0  |
| DC9                | C | 18/05/1981 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 74  | 0  |
| B747-238B          | E | 13/05/1981 | AUSTRALIA                 | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 7   | 0  |
| DC10-10            | E | 03/04/1981 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR     | 166 | 0  |
| B737               | C | 10/02/1981 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 44  | 0  |
| DC6A               | C | 02/11/1980 | SWITZERLAND               | Zona 3  | FLIGHT   | MINOR     | 74  | 0  |
| B737               | C | 17/10/1980 | NEW ZEALAND               | Zona 3  | DESCENT  | NONE      | 67  | 0  |
| B707               | D | 17/10/1980 | JAMAICA                   | Zona 1  | FLIGHT   | NONE      | 100 | 0  |
| F27                | B | 03/10/1980 | NEW ZEALAND               | Zona 3  | DESCENT  | NONE      | 42  | 0  |
| L1011              | E | 12/09/1980 | BAHAMAS                   | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 69  | 0  |
| B747               | E | 08/09/1980 | JAPAN                     | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR     | 415 | 0  |
| B747               | E | 09/08/1980 | OVER<br>ATLANTIC<br>OCEAN | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 134 | 0  |
| DC9-32             | C | 15/07/1980 | U.S.A.                    | Zona 2  | DESCENT  | NONE      | 56  | 0  |
| B727               | C | 04/07/1980 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 122 | 0  |
| B747               | E | 24/04/1980 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 272 | 0  |
| DC9                | C | 04/04/1980 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 68  | 0  |
| DC10               | E | 18/11/1979 | NORTH<br>PACIFIC<br>OCEAN | Zona 1  | FLIGHT   | NONE      | 188 | 0  |
| MARTIN 404         | B | 16/11/1979 | U.S.A.                    | Zona 2  | TAKE-OFF | DESTROYED | 44  | 0  |
| DC9                | C | 12/08/1979 | CANADA                    | Zona 3  | FLIGHT   | NONE      | 101 | 0  |
| B747               | E | 30/07/1979 | EN-ROUTE TO<br>BANGKOK    | Zona 1  | FLIGHT   | NONE      | 323 | 0  |
| L1011              | E | 15/01/1979 | JAPAN                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 353 | 0  |
| L1011              | E | 06/12/1978 | EN-ROUTE                  | NO INFO | FLIGHT   | NONE      | 302 | 0  |
| B707               | D | 20/09/1978 | U.S.A.                    | Zona 2  | CLIMB    | NONE      | 94  | 0  |
| DC10               | E | 27/07/1978 | SOUTH<br>PACIFIC<br>OCEAN | Zona 1  | FLIGHT   | NONE      | 180 | 0  |
| B737               | C | 30/05/1978 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR     | 98  | 0  |
| B727               | C | 19/04/1978 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 109 | 0  |
| B727               | C | 21/09/1977 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 104 | 0  |
| NORD 262           | B | 31/08/1977 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 18  | 0  |
| DC8                | D | 07/08/1977 | CUBA                      | Zona 1  | FLIGHT   | NONE      | 127 | 0  |
| DC8                | D | 06/07/1977 | JAPAN                     | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR     | 69  | 0  |
| L1011              | E | 12/03/1977 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 125 | 0  |
| B727               | C | 04/03/1977 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 71  | 0  |
| B727               | C | 08/08/1976 | NEAR<br>BETHLEHEM         | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 128 | 0  |
| B727               | C | 02/08/1976 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR     | 74  | 0  |
| B727               | C | 12/06/1976 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 40  | 0  |
| YS11               | B | 28/05/1976 | JAPAN                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 64  | 0  |
| DC8                | D | 27/05/1976 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 106 | 0  |
| DC8                | D | 07/04/1976 | JAPAN                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 169 | 0  |
| B727               | C | 03/03/1976 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 92  | 0  |
| B727               | C | 22/02/1976 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 83  | 0  |
| B727               | C | 16/02/1976 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 83  | 0  |
| B747               | E | 18/06/1975 | OVER GREEK<br>AIRSPACE    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 134 | 0  |
| B707-B-328B        | D | 13/05/1974 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 111 | 0  |
| C46A-45-CU         | B | 23/02/1974 | BOLIVIA                   | Zona 1  | FLIGHT   | DESTROYED | 7   | 7  |
| B707               | D | 05/05/1973 | OVER THE<br>ALPS          | Zona 3  | FLIGHT   | MINOR     | 98  | 1  |
| B747               | E | 04/01/1972 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 330 | 0  |
| B747-121           | E | 04/11/1970 | U.S.A.                    | Zona 2  | FLIGHT   | MINOR     | 163 | 0  |
| HERON 1B<br>DH114  | B | 26/05/1970 | HONDURAS                  | Zona 1  | APPROACH | DESTROYED | 6   | 6  |
| DC6<br>CLOUDMASTER | C | 20/03/1970 | JAPAN                     | Zona 2  | FLIGHT   | NONE      | 12  | 0  |
| DC3-D              | B | 02/01/1969 | TAIWAN                    | Zona 2  | FLIGHT   | DESTROYED | 24  | 24 |
| F27B               | B | 02/12/1968 | U.S.A.                    | Zona 2  | APPROACH | DESTROYED | 39  | 39 |
| BAC1-11            | B | 09/10/1967 | CARIBBEAN                 | Zona 1  | FLIGHT   | MINOR     | 6   | 2  |
| DC3                | B | 25/07/1967 | LAOS                      | Zona 1  | FLIGHT   | DESTROYED | 16  | 16 |

## A2.2. Tablas generadas para crear los gráficos

**Tabla A2.9.** Distribución de accidentes aéreos en función del fenómeno meteorológico causante o contributivo y de la zona climática, durante 1992, 1993 y 1994

| 1992    | Accidentes<br>totales por zona | Turbulencias | Visibilidad | Lluvia | Nieve | Niebla | CAT | Tormenta | Icing | Sleet | Tormenta<br>de arena | Accidentes<br>meteorológicos |
|---------|--------------------------------|--------------|-------------|--------|-------|--------|-----|----------|-------|-------|----------------------|------------------------------|
| Zona 1  | 25                             | 2            | 1           | 2      | 0     | 1      | 0   | 4        | 0     | 0     | 0                    | 10                           |
| Zona 2  | 35                             | 3            | 4           | 1      | 1     | 1      | 2   | 0        | 0     | 0     | 1                    | 13                           |
| Zona 3  | 15                             | 3            | 0           | 1      | 1     | 0      | 0   | 0        | 0     | 0     | 0                    | 5                            |
| Zona 4  | 0                              | 0            | 0           | 0      | 0     | 0      | 0   | 0        | 0     | 0     | 0                    | 0                            |
| No Info | 0                              | 0            | 0           | 0      | 0     | 0      | 0   | 0        | 0     | 0     | 0                    | 0                            |
| 1993    | Accidentes<br>totales por zona | Turbulencias | Visibilidad | Lluvia | Nieve | Niebla | CAT | Tormenta | Icing | Sleet | Tormenta<br>de arena | Accidentes<br>meteorológicos |
| Zona 1  | 21                             | 3            | 1           | 4      | 0     | 0      | 0   | 2        | 0     | 0     | 0                    | 10                           |
| Zona 2  | 30                             | 9            | 1           | 4      | 2     | 3      | 0   | 1        | 0     | 0     | 0                    | 20                           |
| Zona 3  | 25                             | 1            | 5           | 2      | 2     | 3      | 2   | 1        | 0     | 0     | 0                    | 16                           |
| Zona 4  | 2                              | 0            | 0           | 1      | 0     | 0      | 0   | 0        | 0     | 0     | 0                    | 1                            |
| No Info | 0                              | 0            | 0           | 0      | 0     | 0      | 0   | 0        | 0     | 0     | 0                    | 0                            |
| 1994    | Accidentes<br>totales por zona | Turbulencias | Visibilidad | Lluvia | Nieve | Niebla | CAT | Tormenta | Icing | Sleet | Tormenta<br>de arena | Accidentes<br>meteorológicos |
| Zona 1  | 16                             | 0            | 6           | 3      | 0     | 0      | 0   | 0        | 0     | 0     | 0                    | 9                            |
| Zona 2  | 26                             | 0            | 8           | 1      | 3     | 2      | 0   | 2        | 1     | 0     | 0                    | 17                           |
| Zona 3  | 8                              | 0            | 1           | 1      | 0     | 0      | 0   | 0        | 0     | 0     | 0                    | 2                            |
| Zona 4  | 0                              | 0            | 0           | 0      | 0     | 0      | 0   | 0        | 0     | 0     | 0                    | 0                            |
| No Info | 0                              | 0            | 0           | 0      | 0     | 0      | 0   | 0        | 0     | 0     | 0                    | 0                            |
| Total   | 203                            |              |             |        |       |        |     |          |       |       |                      | 103                          |

**Tabla A2.10.** Distribución de accidentes aéreos causados por meteorología adversa por meses y zonas climáticas.

| Zonas/Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|-------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| Zona 1      | 13    | 14      | 16    | 13    | 21   | 9     | 24    | 16     | 22         | 10      | 20        | 21        |
| Zona 2      | 78    | 50      | 59    | 62    | 56   | 48    | 60    | 65     | 46         | 43      | 42        | 63        |
| Zona 3      | 25    | 11      | 18    | 10    | 15   | 21    | 19    | 11     | 23         | 15      | 20        | 15        |
| Zona 4      | 0     | 1       | 2     | 0     | 2    | 0     | 1     | 0      | 0          | 2       | 2         | 1         |

**Tabla A2.11.** Distribución de accidentes aéreos en función del fenómeno meteorológico presente y de la zona climática

|                                    | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Zona 4 | NO<br>INFORMATION |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| Turbulencias                       | 28     | 198    | 21     | 0      | 9                 |
| CAT                                | 2      | 31     | 5      | 0      | 2                 |
| Nieve                              | 0      | 5      | 1      | 0      | 0                 |
| Icing                              | 1      | 45     | 28     | 0      | 0                 |
| Sleet                              | 0      | 0      | 1      | 0      | 0                 |
| Visibilidad                        | 61     | 209    | 79     | 5      | 1                 |
| Tormentas                          | 25     | 30     | 5      | 1      | 0                 |
| Tormenta de<br>arena               | 0      | 1      | 0      | 0      | 0                 |
| Lluvia                             | 62     | 73     | 38     | 4      | 2                 |
| Niebla                             | 20     | 80     | 24     | 1      | 1                 |
| Total Accidentes<br>meteorológicos | 199    | 672    | 202    | 11     | 15                |
| Total Accidentes                   | 800    | 1330   | 511    | 19     | 26                |
| Porcentaje                         | 24,9   | 50,5   | 39,5   | 57,9   | 57,7              |

**Tabla A2.12.** Accidentes aéreos en función de la zona climática

| Zona Climática | Accidentes aéreos |
|----------------|-------------------|
| Zona 1         | 800               |
| Zona 2         | 1330              |
| Zona 3         | 511               |
| Zona 4         | 19                |
| NO INFORMATION | 26                |
|                | Total : 2686      |

**Tabla A2.13.** Distribución de accidentes aéreos en función del fenómeno meteorológico y de la fase de vuelo

|                  | Turbulencia | Niebla | CAT | Lluvia | Icing | Visibilidad baja | Nieve | Sleet | Tormenta de arena | Tormenta | Acc. por meteorología |
|------------------|-------------|--------|-----|--------|-------|------------------|-------|-------|-------------------|----------|-----------------------|
| LANDING          | 9           | 31     | 0   | 92     | 24    | 99               | 1     | 0     | 1                 | 16       | 273                   |
| APPROACH         | 18          | 54     | 0   | 34     | 22    | 57               | 2     | 0     | 0                 | 20       | 207                   |
| FLIGHT           | 157         | 7      | 30  | 8      | 1     | 34               | 1     | 0     | 0                 | 13       | 251                   |
| TAKE-OFF         | 1           | 8      | 0   | 11     | 9     | 36               | 1     | 0     | 0                 | 0        | 66                    |
| PARKED           | 0           | 2      | 0   | 3      | 1     | 14               | 0     | 0     | 0                 | 0        | 20                    |
| CLIMB            | 14          | 2      | 3   | 8      | 5     | 37               | 0     | 0     | 0                 | 4        | 73                    |
| TAXIING          | 0           | 4      | 0   | 7      | 2     | 33               | 0     | 0     | 0                 | 0        | 46                    |
| DESCENT          | 56          | 7      | 7   | 5      | 1     | 14               | 1     | 1     | 0                 | 7        | 99                    |
| GO-AROUND        | 0           | 8      | 0   | 7      | 3     | 11               | 0     | 0     | 0                 | 1        | 30                    |
| ABORTED          | 1           | 3      | 0   | 4      | 5     | 20               | 0     | 0     | 0                 | 0        | 33                    |
| FASE DESCONOCIDA | 0           | 0      | 0   | 0      | 1     | 0                | 0     | 0     | 0                 | 0        | 1                     |
| Suma             | 256         | 126    | 40  | 179    | 74    | 355              | 6     | 1     | 1                 | 61       | 1099                  |

**Tabla A2.14.** Distribución de pasajeros accidentados y fallecidos en función del fenómeno meteorológico presente y de la fase de vuelo

|                  | Turbulencia |     | Niebla |      | CAT  |   | Lluvia |      | Icing |      | Visibilidad |       | Tormenta |      | Tormenta de arena |   | Sleet |    | Nieve |     |
|------------------|-------------|-----|--------|------|------|---|--------|------|-------|------|-------------|-------|----------|------|-------------------|---|-------|----|-------|-----|
|                  | A           | F   | A      | F    | A    | F | A      | F    | A     | F    | A           | F     | A        | F    | A                 | F | A     | F  | A     | F   |
| LANDING          | 430         | 0   | 2932   | 189  | 0    | 0 | 10097  | 841  | 1242  | 142  | 8398        | 771   | 1319     | 266  | 12                | 3 | 0     | 0  | 8     | 0   |
| APPROACH         | 1580        | 61  | 3054   | 2163 | 0    | 0 | 2848   | 1600 | 1016  | 753  | 3612        | 2315  | 1201     | 879  | 0                 | 0 | 0     | 0  | 43    | 40  |
| FLIGHT           | 20991       | 113 | 200    | 129  | 4189 | 1 | 490    | 490  | 22    | 2    | 3725        | 2106  | 667      | 413  | 0                 | 0 | 0     | 0  | 4     | 4   |
| TAKE-OFF         | 44          | 0   | 708    | 449  | 0    | 0 | 1005   | 235  | 635   | 296  | 3844        | 1345  | 0        | 0    | 0                 | 0 | 0     | 0  | 4     | 0   |
| PARKED           | 0           | 0   | 117    | 0    | 0    | 0 | 577    | 1    | 73    | 0    | 1695        | 302   | 0        | 0    | 0                 | 0 | 0     | 0  | 0     | 0   |
| CLIMB            | 1626        | 0   | 67     | 60   | 480  | 0 | 455    | 447  | 256   | 192  | 3625        | 1883  | 386      | 319  | 0                 | 0 | 0     | 0  | 0     | 0   |
| TAXIING          | 0           | 0   | 505    | 385  | 0    | 0 | 1388   | 0    | 230   | 0    | 3756        | 29    | 0        | 0    | 0                 | 0 | 0     | 0  | 0     | 0   |
| DESCENT          | 7168        | 0   | 464    | 438  | 920  | 0 | 217    | 215  | 18    | 18   | 957         | 932   | 506      | 371  | 0                 | 0 | 33    | 24 | 68    | 68  |
| GO-AROUND        | 0           | 0   | 342    | 250  | 0    | 0 | 580    | 476  | 111   | 46   | 602         | 178   | 64       | 44   | 0                 | 0 | 0     | 0  | 0     | 0   |
| ABORTED          | 18          | 0   | 201    | 8    | 0    | 0 | 330    | 19   | 821   | 27   | 2586        | 173   | 0        | 0    | 0                 | 0 | 0     | 0  | 0     | 0   |
| FASE DESCONOCIDA | 0           | 0   | 0      | 0    | 0    | 0 | 0      | 0    | 53    | 53   | 0           | 0     | 0        | 0    | 0                 | 0 | 0     | 0  | 0     | 0   |
| Suma             | 31857       | 174 | 8590   | 4071 | 5589 | 1 | 17987  | 4324 | 4477  | 1529 | 32800       | 10034 | 4143     | 2292 | 12                | 3 | 33    | 24 | 127   | 112 |

**Tabla A2.15.** Comparación del número de accidentes, personas accidentadas y número de fallecidos entre el total y los accidentes meteorológicos causados por meteorología adversa por fase de vuelo

|               | Accidentes | Personas Accidentadas | Fallecidos | Porcentaje de accidentes por fase | Porcentaje de fallecidos por fase | Accidentes Meteo | Accidentados Meteo | Fallecidos Meteo | Porcentaje accidentes Meteo por fase | Porcentaje de fallecidos Meteo por fase |
|---------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------------------------|---|
| LANDING       | 713        | 55218                 | 4220       | 26,5                              | 7,6                               | 273              | 24438              | 2212             | 10,1                                 | 9,1                                     |
| APPROACH      | 488        | 27784                 | 17156      | 18,2                              | 61,7                              | 207              | 13354              | 7811             | 7,7                                  | 58,5                                    |
| FLIGHT        | 510        | 51006                 | 11193      | 18,9                              | 21,9                              | 251              | 30288              | 3258             | 9,3                                  | 10,8                                    |
| TAKE-OFF      | 221        | 15868                 | 4875       | 8,2                               | 30,7                              | 66               | 6240               | 2325             | 2,5                                  | 37,3                                    |
| PARKED        | 103        | 11049                 | 436        | 3,8                               | 3,9                               | 20               | 2462               | 303              | 74,4                                 | 12,3                                    |
| CLIMB         | 225        | 15529                 | 8467       | 8,4                               | 54,5                              | 73               | 6895               | 2901             | 2,7                                  | 42,1                                    |
| TAXIING       | 127        | 14130                 | 435        | 4,7                               | 3,1                               | 46               | 5879               | 414              | 1,7                                  | 7                                       |
| DESCENT       | 162        | 13710                 | 3805       | 6                                 | 27,7                              | 99               | 10351              | 2066             | 3,7                                  | 20                                      |
| GO-AROUND     | 58         | 3135                  | 1697       | 2,2                               | 54,1                              | 30               | 1699               | 994              | 1,1                                  | 58,5                                    |
| ABORTED       | 74         | 9254                  | 314        | 2,7                               | 3,4                               | 33               | 3956               | 227              | 1,2                                  | 5,7                                     |
| NOINFORMATION | 5          | 492                   | 141        | 0,2                               | 28,6                              | 1                | 53                 | 53               | 0,04                                 | 100                                     |

**Tabla 2.16.** Comparación anual entre accidentes aéreos, personas accidentadas, fallecidos, y tasa de mortalidad en general y por causas meteorológicas

|       | Número de accidentes aéreos por año | Personas accidentadas | Fallecidos | Supervivientes | Tasa       | Número de accidentes aéreos por meteorología por año | Personas accidentadas | Fallecidos | Supervivientes | Tasa     |
|-------|-------------------------------------|-----------------------|------------|----------------|------------|--|-----------------------|------------|----------------|----------|
| 1967  | 45                                  | 2266                  | 1160       | 1106           | 51,1915269 | 15   | 786                   | 452        | 334            | 57,50636 |
| 1968  | 40                                  | 2076                  | 1076       | 1000           | 51,8304432 | 22   | 1327                  | 717        | 610            | 54,03165 |
| 1969  | 53                                  | 2625                  | 1371       | 1254           | 52,2285714 | 21   | 1082                  | 630        | 452            | 58,22550 |
| 1970  | 64                                  | 2972                  | 1428       | 1544           | 48,0484522 | 23   | 1382                  | 493        | 889            | 35,67293 |
| 1971  | 47                                  | 2378                  | 1265       | 1113           | 53,195963  | 16   | 1141                  | 458        | 683            | 40,14022 |
| 1972  | 71                                  | 4379                  | 2387       | 1992           | 54,5101621 | 20   | 1776                  | 604        | 1172           | 34,0090  |
| 1973  | 78                                  | 4616                  | 1838       | 2778           | 39,8180243 | 17   | 1550                  | 772        | 778            | 49,80645 |
| 1974  | 50                                  | 3282                  | 1996       | 1286           | 60,8165753 | 21   | 1735                  | 1094       | 641            | 63,0547  |
| 1975  | 52                                  | 3182                  | 1048       | 2134           | 32,9352608 | 15   | 1214                  | 278        | 936            | 22,89950 |
| 1976  | 55                                  | 3422                  | 1616       | 1806           | 47,2238457 | 22   | 1474                  | 417        | 1057           | 28,29036 |
| 1977  | 55                                  | 3987                  | 1616       | 2371           | 40,5317281 | 19   | 1738                  | 882        | 856            | 50,74798 |
| 1978  | 56                                  | 5283                  | 1130       | 4153           | 21,3893621 | 22   | 2641                  | 404        | 2237           | 15,29723 |
| 1979  | 49                                  | 4058                  | 1636       | 2422           | 40,3154263 | 22   | 1792                  | 517        | 1275           | 28,85044 |
| 1980  | 51                                  | 4656                  | 1306       | 3350           | 28,0498282 | 24   | 2947                  | 846        | 2101           | 28,70715 |
| 1981  | 40                                  | 3131                  | 819        | 2312           | 26,1577771 | 16   | 975                   | 159        | 816            | 16,30769 |
| 1982  | 51                                  | 4748                  | 1106       | 3642           | 23,2940185 | 23   | 2859                  | 409        | 2450           | 14,30570 |
| 1983  | 53                                  | 4381                  | 1266       | 3115           | 28,897512  | 24   | 1635                  | 477        | 1158           | 29,17431 |
| 1984  | 38                                  | 3245                  | 516        | 2729           | 15,9013867 | 16   | 1431                  | 95         | 1336           | 6,638714 |
| 1985  | 52                                  | 5150                  | 2341       | 2809           | 45,4563107 | 22   | 2839                  | 1691       | 1148           | 59,56322 |
| 1986  | 82                                  | 6627                  | 1020       | 5607           | 15,3915799 | 31   | 2236                  | 269        | 1967           | 12,03041 |
| 1987  | 64                                  | 5300                  | 1104       | 4196           | 20,8301887 | 27   | 2429                  | 509        | 1920           | 20,95512 |
| 1988  | 68                                  | 5121                  | 1595       | 3526           | 31,1462605 | 24   | 2002                  | 206        | 1796           | 10,28971 |
| 1989  | 72                                  | 5797                  | 1715       | 4082           | 29,5842677 | 28   | 2738                  | 861        | 1877           | 31,44631 |
| 1990  | 77                                  | 5549                  | 721        | 4828           | 12,9933321 | 28   | 2839                  | 299        | 2540           | 10,53187 |
| 1991  | 62                                  | 4173                  | 1106       | 3067           | 26,5037144 | 23   | 2190                  | 674        | 1516           | 30,77625 |
| 1992  | 75                                  | 6181                  | 1371       | 4810           | 22,1808769 | 28   | 2797                  | 690        | 2107           | 24,66928 |
| 1993  | 78                                  | 7270                  | 1225       | 6045           | 16,8500688 | 47   | 4630                  | 573        | 4057           | 12,37580 |
| 1994  | 50                                  | 3422                  | 1352       | 2070           | 39,509059  | 28   | 2097                  | 723        | 1374           | 34,47782 |
| 1995  | 56                                  | 3416                  | 1122       | 2294           | 32,8454333 | 29   | 2343                  | 462        | 1881           | 19,71830 |
| 1996  | 53                                  | 3706                  | 1852       | 1854           | 49,9730167 | 31   | 1998                  | 636        | 1362           | 31,83183 |
| 1997  | 61                                  | 4606                  | 1216       | 3390           | 26,4003474 | 34   | 3212                  | 799        | 2413           | 24,87546 |
| 1998  | 51                                  | 4177                  | 1232       | 2945           | 29,4948528 | 29   | 3187                  | 902        | 2285           | 28,30247 |
| 1999  | 39                                  | 3400                  | 592        | 2808           | 17,4117647 | 18   | 2060                  | 122        | 1938           | 5,92233  |
| 2000  | 45                                  | 4347                  | 1021       | 3326           | 23,4874626 | 23   | 2084                  | 578        | 1506           | 27,73512 |
| 2001  | 102                                 | 8953                  | 1222       | 7731           | 13,6490562 | 37   | 3076                  | 451        | 2625           | 14,66189 |
| 2002  | 55                                  | 6565                  | 978        | 5587           | 14,897182  | 24   | 4231                  | 443        | 3788           | 10,47033 |
| 2003  | 90                                  | 8497                  | 621        | 7876           | 7,30846181 | 37   | 4230                  | 264        | 3966           | 6,24113  |
| 2004  | 55                                  | 6171                  | 379        | 5792           | 6,14163021 | 27   | 3841                  | 236        | 3605           | 6,14423  |
| 2005  | 129                                 | 13508                 | 964        | 12544          | 7,1365117  | 42   | 5639                  | 361        | 5278           | 6,40184  |
| 2006  | 72                                  | 7145                  | 826        | 6319           | 11,5605318 | 37   | 3791                  | 454        | 3337           | 11,97573 |
| 2007  | 84                                  | 8043                  | 686        | 7357           | 8,52915579 | 40   | 4606                  | 493        | 4113           | 10,70343 |
| 2008  | 68                                  | 6183                  | 477        | 5706           | 7,7147016  | 19   | 1525                  | 88         | 1437           | 5,77049  |
| 2009  | 58                                  | 5920                  | 675        | 5245           | 11,402027  | 24   | 3116                  | 238        | 2878           | 7,63799  |
| 2010  | 40                                  | 3261                  | 746        | 2515           | 22,8764183 | 4  | 505                   | 0          | 505            | 0        |
| Total | 2686                                | 217175                | 52739      | 164436         |            | 1099   | 105726                | 22726      | 83000          |          |



## **ANEXO 3. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA AL ANÁLISIS METEOROLÓGICO DEL AIR FRANCE 447**

### **A3.1. Motivación del análisis del accidente del AF447**

El motivo por el qué se ha redactado el capítulo 3 y por qué no decirlo también este trabajo, es demostrar que incluso las aeronaves más modernas, tales como el A330-203 accidentado, siguen dependiendo del entorno en el que operan, -la atmosfera.

¿Por qué se ha decidido analizar el accidente del AF447?

La elección de este accidente se ha realizado por 4 razones:

- Primera razón, el accidente ocurre en la ITCZ, es decir una región que suele presentar condiciones meteorológicas adversas.
- Segunda razón, sucede durante la fase de crucero de la aeronave por lo que el piloto automático debía estar conectado, descartando así el fallo humano como hecho aislado.
- Tercera razón, el fallo mecánico como causa aislada del accidente se puede considerar atípico, puesto que las actuales aeronaves presentan sistemas redundantes y por lo tanto tolerantes a fallas.
- Cuarta razón, el accidente es relativamente actual (2009).

Razones suficientes para pensar que la meteorología jugó un papel importante como causa de este accidente, convirtiéndolo por lo tanto en una prueba real que apoya el Leitmotiv de este trabajo.

### A3.2. Ruta realizada por el Air France 447 trazada con Google Earth

La región recuadrada en rojo marca el área en la que la aeronave comenzó a tener problemas y perdió el contacto con el Brazilian ATC, tras pasar las comunicaciones a HF sobre las 01:33 UTC, probablemente como consecuencia de un cierto deterioro de la atmosfera. El Air France 447 nunca alcanzó el FIR DAKAR, para ser más exactos nunca llegó al Waypoint TASIL.



Figura A3.1. Ruta seguida por el AF447 [14]

### A3.3. Lista de parámetros del radiosondeo de la estación SBFN del 1 de junio de 2009 a las 00:00 UTC distribuidos por altitud barométrica

**Tabla A3.1.** Sounding: 82400 SBFN Fernando De Noronha Observations at 00Z 01 Jun 2009 [15]

| PRES<br>Hpa | HGHT<br>M | TEMP<br>°C | DWPT<br>°C | RH<br>% | MIXR<br>g / kg | DRCT<br>Deg | SKNT<br>Knot | THAT<br>K | THTE<br>K | THTV<br>K |
|-------------|-----------|------------|------------|---------|----------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 1000,0      | 108       | 26,8       | 22,7       | 78      | 17,72          | 110         | 5            | 299,9     | 352,0     | 303,1     |
| 999,0       | 117       | 27,0       | 22,4       | 76      | 17,41          | 110         | 5            | 300,2     | 351,5     | 303,4     |
| 946,0       | 598       | 23,0       | 20,5       | 86      | 16,33          | 99          | 9            | 300,9     | 349,1     | 303,8     |
| 925,0       | 794       | 22,0       | 18,0       | 78      | 14,24          | 95          | 10           | 301,8     | 344,0     | 304,4     |
| 850,0       | 1524      | 18,0       | 10,0       | 60      | 9,15           | 100         | 6            | 305,0     | 332,7     | 306,7     |
| 809,0       | 1946      | 16,0       | 5,0        | 48      | 6,80           | 127         | 6            | 307,2     | 328,2     | 308,5     |



|       |       |       |       |    |       |     |    |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|----|-------|-----|----|-------|-------|-------|
| 803,0 | 2010  | 15,6  | 10,6  | 72 | 10,09 | 131 | 6  | 307,4 | 338,2 | 309,3 |
| 774,0 | 2322  | 14,2  | 10,2  | 77 | 10,19 | 151 | 6  | 309,2 | 340,5 | 311,1 |
| 751,0 | 2577  | 14,0  | -6,0  | 24 | 3,27  | 167 | 7  | 311,6 | 322,3 | 312,2 |
| 701,0 | 3154  | 10,4  | 1,4   | 54 | 6,08  | 204 | 7  | 313,8 | 333,2 | 315,0 |
| 700,0 | 3166  | 10,2  | 1,2   | 54 | 6,00  | 205 | 7  | 313,8 | 332,9 | 314,9 |
| 648,0 | 3805  | 7,4   | -21,6 | 11 | 1,06  | 207 | 6  | 317,6 | 321,3 | 317,8 |
| 623,0 | 4128  | 5,8   | -13,2 | 24 | 2,23  | 208 | 6  | 319,3 | 327,0 | 319,8 |
| 603,0 | 4394  | 3,8   | -19,2 | 17 | 1,40  | 209 | 6  | 320,0 | 324,9 | 320,3 |
| 598,0 | 4462  | 2,8   | -8,2  | 44 | 3,46  | 210 | 6  | 319,6 | 331,2 | 320,3 |
| 584,0 | 4653  | 2,0   | -15,0 | 27 | 2,05  | 210 | 5  | 320,9 | 328,0 | 321,2 |
| 537,0 | 5326  | -2,1  | -17,1 | 31 | 1,87  | 213 | 5  | 323,7 | 330,3 | 324,1 |
| 528,0 | 5460  | -3,1  | -11,1 | 54 | 3,12  | 213 | 4  | 324,1 | 334,8 | 324,7 |
| 519,0 | 5596  | -3,3  | -22,3 | 21 | 1,24  | 214 | 4  | 325,5 | 330,0 | 325,7 |
| 506,0 | 5796  | -4,7  | -25,7 | 18 | 0,94  | 215 | 4  | 326,1 | 329,6 | 326,3 |
| 500,0 | 5890  | -5,3  | -25,3 | 19 | 0,98  | 215 | 4  | 326,5 | 330,1 | 326,7 |
| 480,0 | 6209  | -7,9  | -22,9 | 29 | 1,27  | 194 | 6  | 327,1 | 331,8 | 327,4 |
| 459,0 | 6555  | -9,1  | -56,1 | 1  | 0,04  | 170 | 8  | 329,9 | 330,0 | 329,9 |
| 431,0 | 7040  | -10,5 | -45,5 | 4  | 0,15  | 137 | 10 | 334,1 | 334,7 | 334,1 |
| 428,0 | 7094  | -10,7 | -28,7 | 21 | 0,84  | 134 | 11 | 334,5 | 337,7 | 334,6 |
| 424,0 | 7166  | -11,1 | -35,1 | 12 | 0,46  | 129 | 11 | 334,9 | 336,7 | 334,9 |
| 420,0 | 7238  | -11,5 | -52,5 | 2  | 0,07  | 124 | 11 | 335,2 | 335,6 | 335,3 |
| 405,0 | 7515  | -13,6 | -46,4 | 4  | 0,15  | 105 | 13 | 336,1 | 336,7 | 336,1 |
| 400,0 | 7610  | -14,3 | -44,3 | 6  | 0,19  | 100 | 12 | 336,3 | 337,1 | 336,4 |
| 382,0 | 7957  | -17,3 | -50,3 | 4  | 0,10  | 93  | 13 | 336,8 | 337,2 | 336,8 |
| 374,0 | 8114  | -18,4 | -44,2 | 8  | 0,20  | 90  | 13 | 337,4 | 338,3 | 337,5 |
| 359,0 | 8419  | -20,5 | -32,5 | 33 | 0,70  | 69  | 12 | 338,6 | 341,3 | 338,7 |
| 353,0 | 8543  | -21,9 | -27,9 | 58 | 1,10  | 61  | 11 | 338,3 | 342,5 | 338,5 |
| 349,0 | 8627  | -22,3 | -25,7 | 74 | 1,36  | 55  | 11 | 338,9 | 344,0 | 339,1 |
| 342,0 | 8773  | -23,4 | -27,1 | 71 | 1,22  | 45  | 10 | 339,4 | 344,0 | 339,6 |
| 321,0 | 9231  | -26,7 | -31,6 | 64 | 0,86  | 55  | 9  | 340,9 | 344,3 | 341,1 |
| 300,0 | 9720  | -30,3 | -36,3 | 56 | 0,57  | 5   | 9  | 342,6 | 344,9 | 342,7 |
| 284,0 | 10106 | -33,2 | -44,2 | 32 | 0,27  | 340 | 8  | 343,8 | 344,9 | 343,9 |
| 275,0 | 10333 | -34,9 | -48,9 | 23 | 0,16  | 337 | 9  | 344,5 | 345,2 | 344,6 |
| 253,0 | 10909 | -39,5 | -47,5 | 42 | 0,21  | 331 | 12 | 346,0 | 346,9 | 346,1 |
| 251,0 | 10963 | -39,9 |       |    |       | 330 | 12 | 346,2 |       | 346,2 |
| 250,0 | 10990 | -40,1 |       |    |       | 330 | 12 | 346,3 |       | 346,3 |
| 248,0 | 11045 | -40,5 |       |    |       | 328 | 12 | 346,5 |       | 346,5 |
| 238,0 | 11324 | -43,1 |       |    |       | 317 | 13 | 346,7 |       | 346,7 |
| 210,0 | 12152 | -50,9 |       |    |       | 285 | 16 | 347,1 |       | 347,1 |
| 206,0 | 12279 | -52,1 |       |    |       | 285 | 16 | 347,2 |       | 347,2 |
| 200,0 | 12470 | -53,3 |       |    |       | 285 | 17 | 348,2 |       | 348,2 |
| 195,0 | 12633 | -54,7 |       |    |       | 285 | 17 | 348,5 |       | 348,5 |
| 178,0 | 13210 | -59,5 |       |    |       | 285 | 19 | 349,8 |       | 349,8 |
| 176,0 | 13280 | -60,1 |       |    |       | 285 | 19 | 350,0 |       | 350,0 |
| 162,0 | 13788 | -64,3 |       |    |       | 305 | 16 | 351,2 |       | 351,2 |
| 151,0 | 14219 | -68,0 |       |    |       | 345 | 18 | 352,2 |       | 352,2 |
| 150,0 | 14260 | -68,3 |       |    |       | 350 | 19 | 352,2 |       | 352,2 |
| 143,0 | 14541 | -70,3 |       |    |       | 355 | 20 | 353,6 |       | 353,6 |
| 132,0 | 15011 | -73,7 |       |    |       | 340 | 21 | 355,8 |       | 355,8 |
| 127,0 | 15238 | -75,3 |       |    |       | 321 | 20 | 356,8 |       | 356,8 |
| 123,0 | 15424 | -73,2 |       |    |       | 305 | 20 | 363,8 |       | 363,8 |
| 122,0 | 15471 | -72,7 |       |    |       | 305 | 20 | 365,6 |       | 365,6 |
| 112,0 | 15966 | -74,8 |       |    |       | 300 | 24 | 370,8 |       | 370,8 |

|       |       |       |  |  |  |     |    |       |  |       |
|-------|-------|-------|--|--|--|-----|----|-------|--|-------|
| 101,0 | 16563 | -77,3 |  |  |  | 320 | 14 | 377,1 |  | 377,1 |
| 100,0 | 16620 | -77,7 |  |  |  | 320 | 14 | 377,4 |  | 377,4 |
| 96,0  | 16853 | -79,6 |  |  |  | 325 | 9  | 378,1 |  | 378,1 |
| 95,3  | 16895 | -79,9 |  |  |  | 315 | 8  | 378,3 |  | 378,3 |
| 87,4  | 17386 | -79,7 |  |  |  | 206 | 5  | 388,1 |  | 388,1 |
| 87,0  | 17412 | -79,3 |  |  |  | 200 | 5  | 389,4 |  | 389,4 |
| 85,0  | 17547 | -77,3 |  |  |  | 220 | 7  | 396,0 |  | 396,0 |
| 80,5  | 17861 | -72,7 |  |  |  | 230 | 18 | 411,8 |  | 411,8 |
| 77,3  | 18100 | -72,5 |  |  |  | 237 | 27 | 417,0 |  | 417,0 |
| 76,0  | 18199 | -73,0 |  |  |  | 240 | 30 | 417,9 |  | 417,9 |
| 71,0  | 18597 | -75,2 |  |  |  | 220 | 37 | 421,4 |  | 421,4 |
| 70,0  | 18680 | -75,7 |  |  |  | 215 | 37 | 422,1 |  | 422,1 |
| 68,0  | 18847 | -76,5 |  |  |  | 210 | 35 | 423,8 |  | 423,8 |
| 66,7  | 18958 | -77,1 |  |  |  | 210 | 31 | 424,9 |  | 424,9 |
| 61,0  | 19482 | -74,1 |  |  |  | 240 | 15 | 442,7 |  | 442,7 |
| 59,0  | 19678 | -72,9 |  |  |  | 250 | 12 | 449,5 |  | 449,5 |
| 58,0  | 19778 | -72,3 |  |  |  | 275 | 11 | 453,0 |  | 453,0 |
| 56,0  | 19984 | -71,2 |  |  |  | 310 | 14 | 460,3 |  | 460,3 |
| 54,0  | 20198 | -69,9 |  |  |  | 320 | 22 | 467,9 |  | 467,9 |
| 50,0  | 20650 | -67,3 |  |  |  | 295 | 26 | 484,5 |  | 484,5 |
| 46,7  | 21064 | -64,5 |  |  |  | 269 | 27 | 500,7 |  | 500,7 |
| 45,0  | 21290 | -65,3 |  |  |  | 255 | 28 | 504,0 |  | 504,0 |
| 44,3  | 21386 | -65,7 |  |  |  | 255 | 25 | 505,4 |  | 505,4 |
| 43,0  | 21570 | -63,6 |  |  |  | 255 | 19 | 514,8 |  | 514,8 |
| 40,0  | 22019 | -58,6 |  |  |  | 290 | 18 | 538,1 |  | 538,1 |
| 39,0  | 22176 | -56,9 |  |  |  | 289 | 20 | 546,4 |  | 546,4 |
| 36,0  | 22681 | -57,5 |  |  |  | 285 | 26 | 557,6 |  | 557,6 |
| 34,0  | 23041 | -57,9 |  |  |  | 305 | 23 | 565,7 |  | 565,7 |
| 32,0  | 23424 | -58,3 |  |  |  |     |    | 574,4 |  | 574,4 |

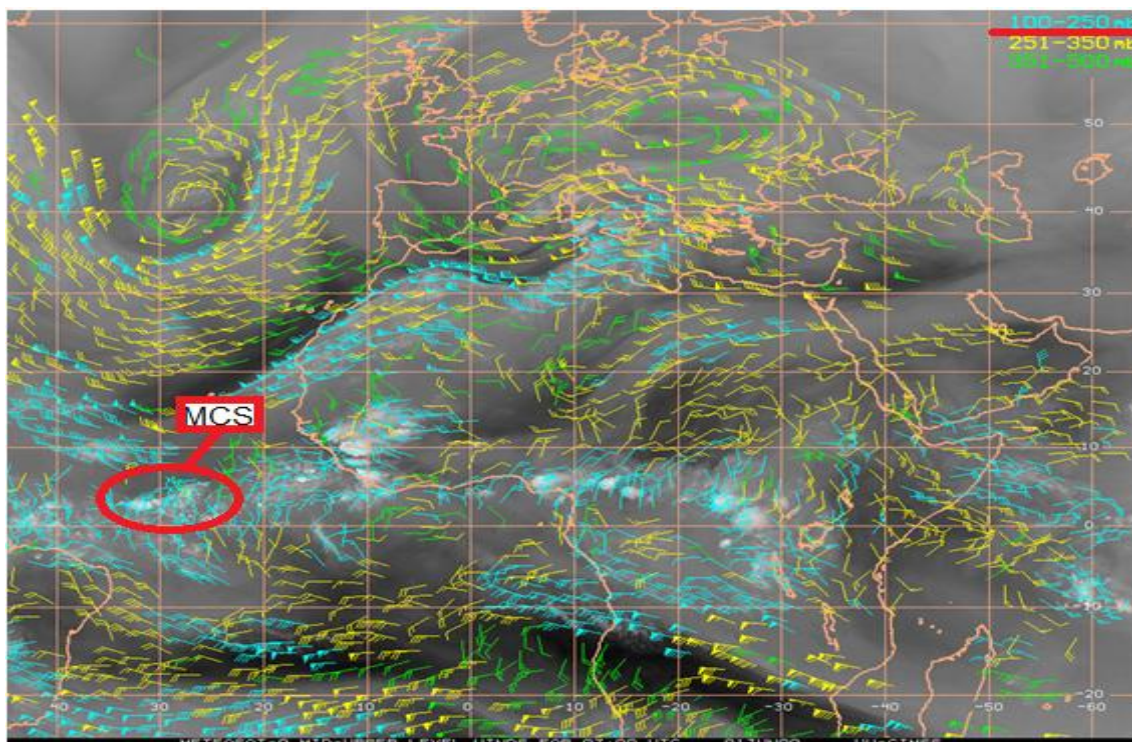
### Station information and sounding indices

```

Station identifier: SBFN
Station number: 82400
Observation time: 090601/0000
Station latitude: -3.85
Station longitude: -32.41
Station elevation: 45.0
Showalter index: 4.76
Lifted index: -2.44
LIFT computed using virtual temperature: -3.30
SWEAT index: 136.01
K index: 24.30
Cross totals index: 15.30
Vertical totals index: 23.30
Totals totals index: 38.60
Convective Available Potential Energy: 638.85
CAPE using virtual temperature: 879.36
Convective Inhibition: -27.10
CINS using virtual temperature: -9.03
Equilibrium Level: 173.29
Equilibrium Level using virtual temperature: 173.15
Level of Free Convection: 807.59
LFCT using virtual temperature: 888.40
Bulk Richardson Number: 214.73
Bulk Richardson Number using CAPV: 295.57
Temp [K] of the Lifted Condensation Level: 294.02
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level: 928.06
Mean mixed layer potential temperature: 300.38
Mean mixed layer mixing ratio: 17.07
1000 hPa to 500 hPa thickness: 5782.00
Precipitable water [mm] for entire sounding: 39.53

```

### A3.4. Carta de circulación del viento entre los 100 mb y 500 mb

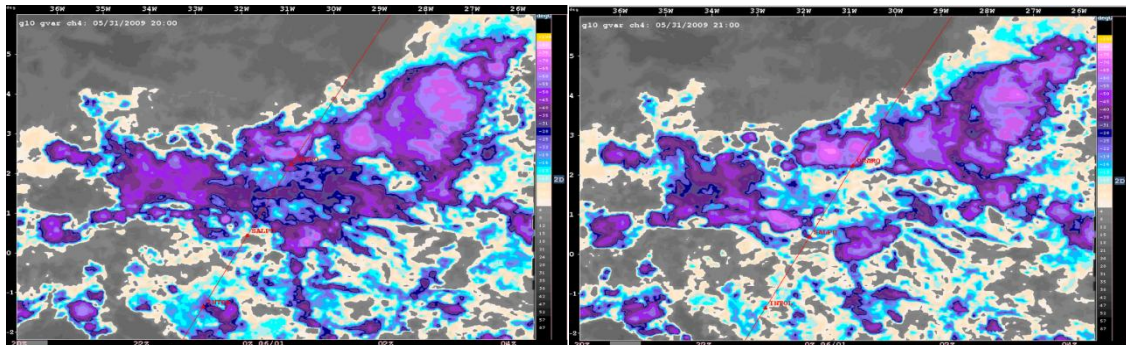


**Figura A3.2.** Carta que muestra la circulación y la velocidad del viento en la alta troposfera, entre los 100 mb y los 250 mb, los 251 mb y los 350 mb, y los 351 mb y 500 mb [26].

La fotografía obtenida es de las 03:00 UTC. Tanto la velocidad como la circulación del viento, han sido derivadas por el satélite METEOSAT-9 por medio del seguimiento de las características de vapor de agua en la troposfera media-superior y de los elementos nubosos de la troposfera inferior. Si se observa la región marcada con un círculo rojo que contiene el MCS, se aprecia que únicamente se ha podido determinar la circulación del viento entre los 100 mb y los 250 mb. Esto se debe a que las regiones con nubosidad de fuerte desarrollo vertical impiden realizar el seguimiento de la nubosidad en bajos niveles de la troposfera, no permitiendo derivar de este modo, los vientos entre los 251 mb y los 500 mb. De todas formas la información del viento entre los 100 mb y los 250 mb, ha resultado ser útil para el análisis meteorológico realizado, puesto que la aeronave operaba alrededor de los 35000 ft (250 mb).

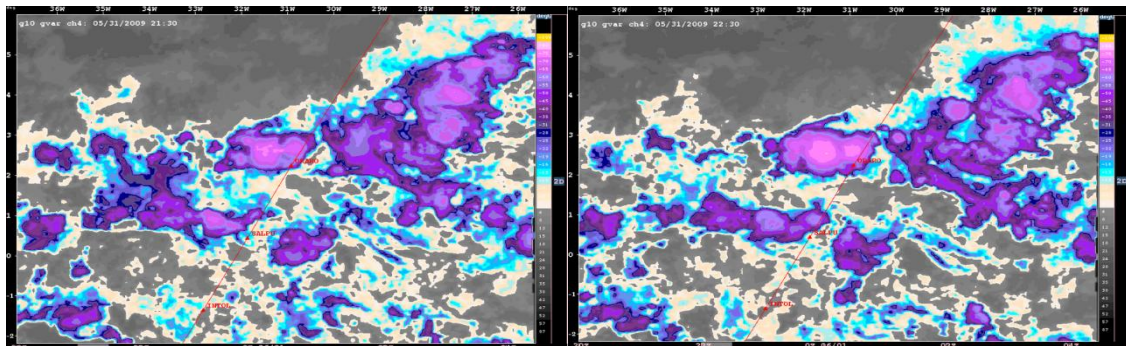


### A3.5. Visualización de la formación y el desarrollo del MCS situado entre los Waypoints SALPU y TASIL de la ruta



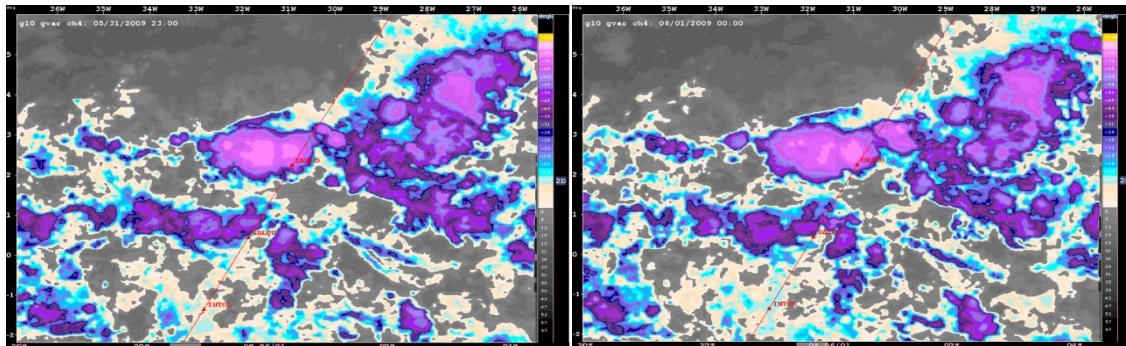
31/05/2009 20:00 UTC

31/05/2009 21:00 UTC



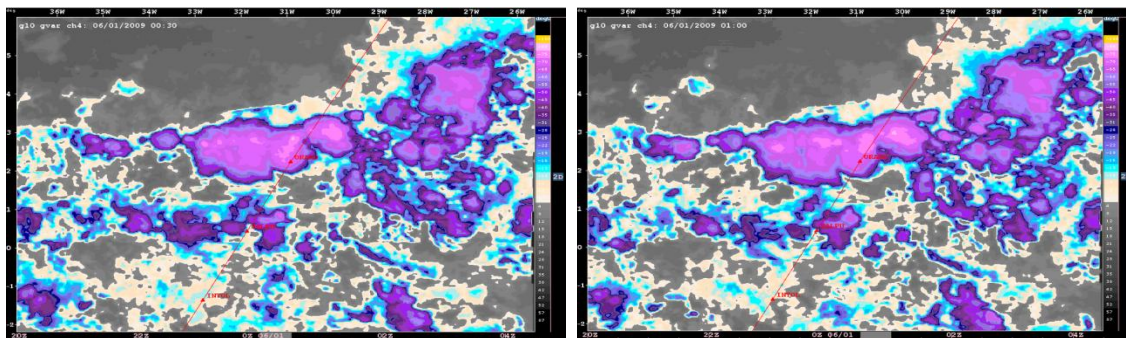
31/05/2009 21:30 UTC

31/05/2009 22:30 UTC



31/05/2009 23:00 UTC

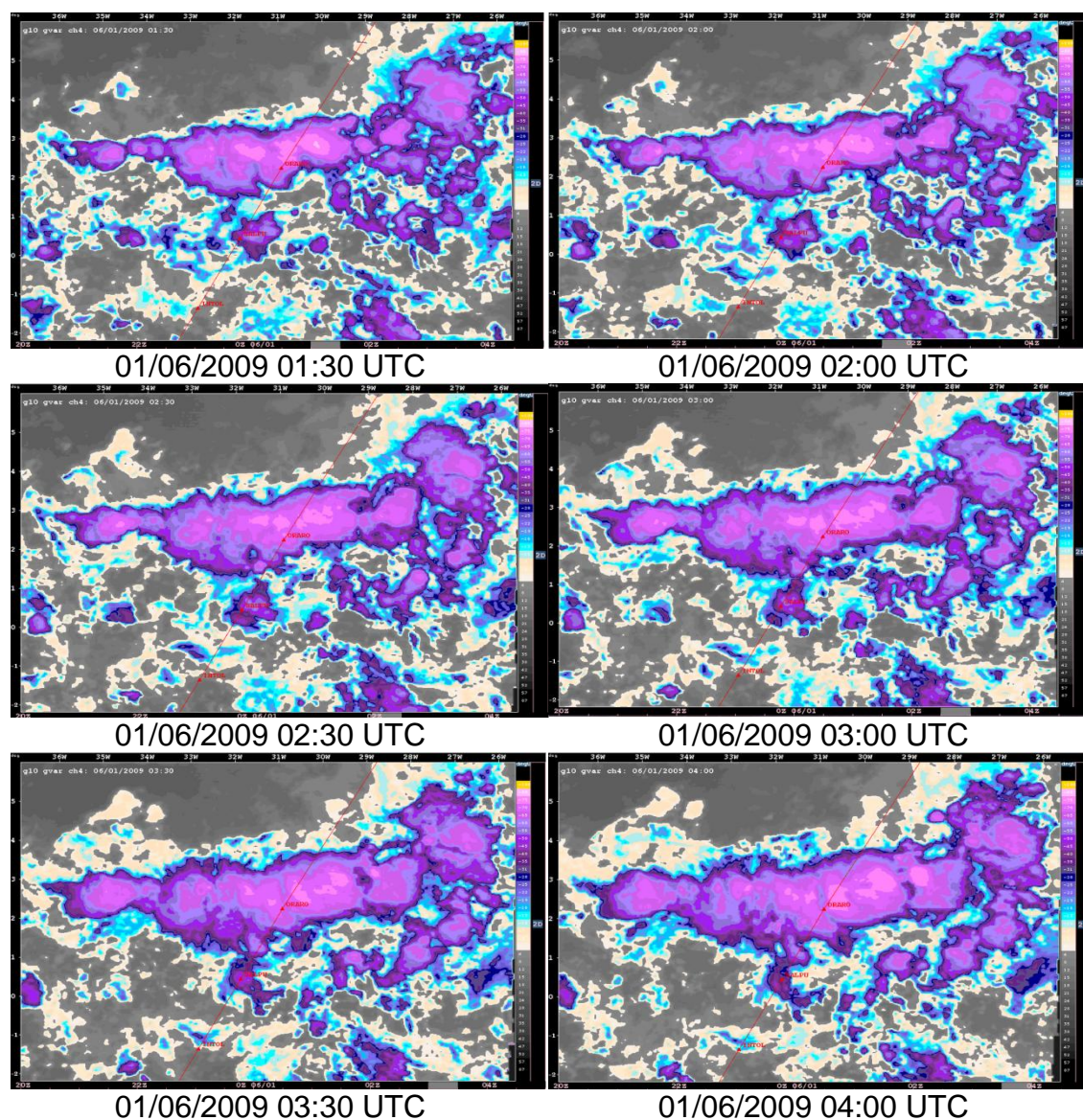
01/06/2009 00:00 UTC



01/06/2009 00:30 UTC

01/06/2009 01:00 UTC





**Figura A3.3.** Fotografías realizadas en IR del MCS tomadas por el satélite GOES-10, entre las 20:00 UTC del 31 de mayo de 2009 y las 04:00 UTC del 1 de junio de 2009 [30]

### A3.6. Tabla ISA

| ALTITUDE<br>(Feet) | TEMP.<br>(°C) | PRESSURE |       |       | PRESSURE<br>RATIO<br>$\delta = P/P_0$ | DENSITY<br>$\sigma = \rho/\rho_0$ | Speed of<br>sound<br>(kt) | ALTITUDE<br>(meters) |
|--------------------|---------------|----------|-------|-------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------|
|                    |               | hPa      | PSI   | In.Hg |                                       |                                   |                           |                      |
| 40 000             | - 56.5        | 188      | 2.72  | 5.54  | 0.1851                                | 0.2462                            | 573                       | 12 192               |
| 39 000             | - 56.5        | 197      | 2.58  | 5.81  | 0.1942                                | 0.2583                            | 573                       | 11 887               |
| 38 000             | - 56.5        | 206      | 2.99  | 6.10  | 0.2038                                | 0.2710                            | 573                       | 11 582               |
| 37 000             | - 56.5        | 217      | 3.14  | 6.40  | 0.2138                                | 0.2844                            | 573                       | 11 278               |
| 36 000             | - 56.3        | 227      | 3.30  | 6.71  | 0.2243                                | 0.2981                            | 573                       | 10 973               |
| 35 000             | - 54.3        | 238      | 3.46  | 7.04  | 0.2353                                | 0.3099                            | 576                       | 10 668               |
| 34 000             | - 52.4        | 250      | 3.63  | 7.38  | 0.2467                                | 0.3220                            | 579                       | 10 363               |
| 33 000             | - 50.4        | 262      | 3.80  | 7.74  | 0.2586                                | 0.3345                            | 581                       | 10 058               |
| 32 000             | - 48.4        | 274      | 3.98  | 8.11  | 0.2709                                | 0.3473                            | 584                       | 9 754                |
| 31 000             | - 46.4        | 287      | 4.17  | 8.49  | 0.2837                                | 0.3605                            | 586                       | 9 449                |
| 30 000             | - 44.4        | 301      | 4.36  | 8.89  | 0.2970                                | 0.3741                            | 589                       | 9 144                |
| 29 000             | - 42.5        | 315      | 4.57  | 9.30  | 0.3107                                | 0.3881                            | 591                       | 8 839                |
| 28 000             | - 40.5        | 329      | 4.78  | 9.73  | 0.3250                                | 0.4025                            | 594                       | 8 534                |
| 27 000             | - 38.5        | 344      | 4.99  | 10.17 | 0.3398                                | 0.4173                            | 597                       | 8 230                |
| 26 000             | - 36.5        | 360      | 5.22  | 10.63 | 0.3552                                | 0.4325                            | 599                       | 7 925                |
| 25 000             | - 34.5        | 376      | 5.45  | 11.10 | 0.3711                                | 0.4481                            | 602                       | 7 620                |
| 24 000             | - 32.5        | 393      | 5.70  | 11.60 | 0.3876                                | 0.4642                            | 604                       | 7 315                |
| 23 000             | - 30.6        | 410      | 5.95  | 12.11 | 0.4046                                | 0.4806                            | 607                       | 7 010                |
| 22 000             | - 28.6        | 428      | 6.21  | 12.64 | 0.4223                                | 0.4976                            | 609                       | 6 706                |
| 21 000             | - 26.6        | 446      | 6.47  | 13.18 | 0.4406                                | 0.5150                            | 611                       | 6 401                |
| 20 000             | - 24.6        | 466      | 6.75  | 13.75 | 0.4595                                | 0.5328                            | 614                       | 6 096                |
| 19 000             | - 22.6        | 485      | 7.04  | 14.34 | 0.4791                                | 0.5511                            | 616                       | 5 791                |
| 18 000             | - 20.7        | 506      | 7.34  | 14.94 | 0.4994                                | 0.5699                            | 619                       | 5 486                |
| 17 000             | - 18.7        | 527      | 7.65  | 15.57 | 0.5203                                | 0.5892                            | 621                       | 5 182                |
| 16 000             | - 16.7        | 549      | 7.97  | 16.22 | 0.5420                                | 0.6090                            | 624                       | 4 877                |
| 15 000             | - 14.7        | 572      | 8.29  | 16.89 | 0.5643                                | 0.6292                            | 626                       | 4 572                |
| 14 000             | - 12.7        | 595      | 8.63  | 17.58 | 0.5875                                | 0.6500                            | 628                       | 4 267                |
| 13 000             | - 10.8        | 619      | 8.99  | 18.29 | 0.6113                                | 0.6713                            | 631                       | 3 962                |
| 12 000             | - 8.8         | 644      | 9.35  | 19.03 | 0.6360                                | 0.6932                            | 633                       | 3 658                |
| 11 000             | - 6.8         | 670      | 9.72  | 19.79 | 0.6614                                | 0.7156                            | 636                       | 3 353                |
| 10 000             | - 4.8         | 697      | 10.10 | 20.58 | 0.6877                                | 0.7385                            | 638                       | 3 048                |
| 9 000              | - 2.8         | 724      | 10.51 | 21.39 | 0.7148                                | 0.7620                            | 640                       | 2 743                |
| 8 000              | - 0.8         | 753      | 10.92 | 22.22 | 0.7428                                | 0.7860                            | 643                       | 2 438                |
| 7 000              | + 1.1         | 782      | 11.34 | 23.09 | 0.7716                                | 0.8106                            | 645                       | 2 134                |
| 6 000              | + 3.1         | 812      | 11.78 | 23.98 | 0.8014                                | 0.8359                            | 647                       | 1 829                |
| 5 000              | + 5.1         | 843      | 12.23 | 24.90 | 0.8320                                | 0.8617                            | 650                       | 1 524                |
| 4 000              | + 7.1         | 875      | 12.69 | 25.84 | 0.8637                                | 0.8881                            | 652                       | 1 219                |
| 3 000              | + 9.1         | 908      | 13.17 | 26.82 | 0.8962                                | 0.9151                            | 654                       | 914                  |
| 2 000              | + 11.0        | 942      | 13.67 | 27.82 | 0.9298                                | 0.9428                            | 656                       | 610                  |
| 1 000              | + 13.0        | 977      | 14.17 | 28.86 | 0.9644                                | 0.9711                            | 659                       | 305                  |
| 0                  | + 15.0        | 1013     | 14.70 | 29.92 | 1.0000                                | 1.0000                            | 661                       | 0                    |
| - 1 000            | + 17.0        | 1050     | 15.23 | 31.02 | 1.0366                                | 1.0295                            | 664                       | - 305                |

Temperatura esperada en el FL350 por la ISA

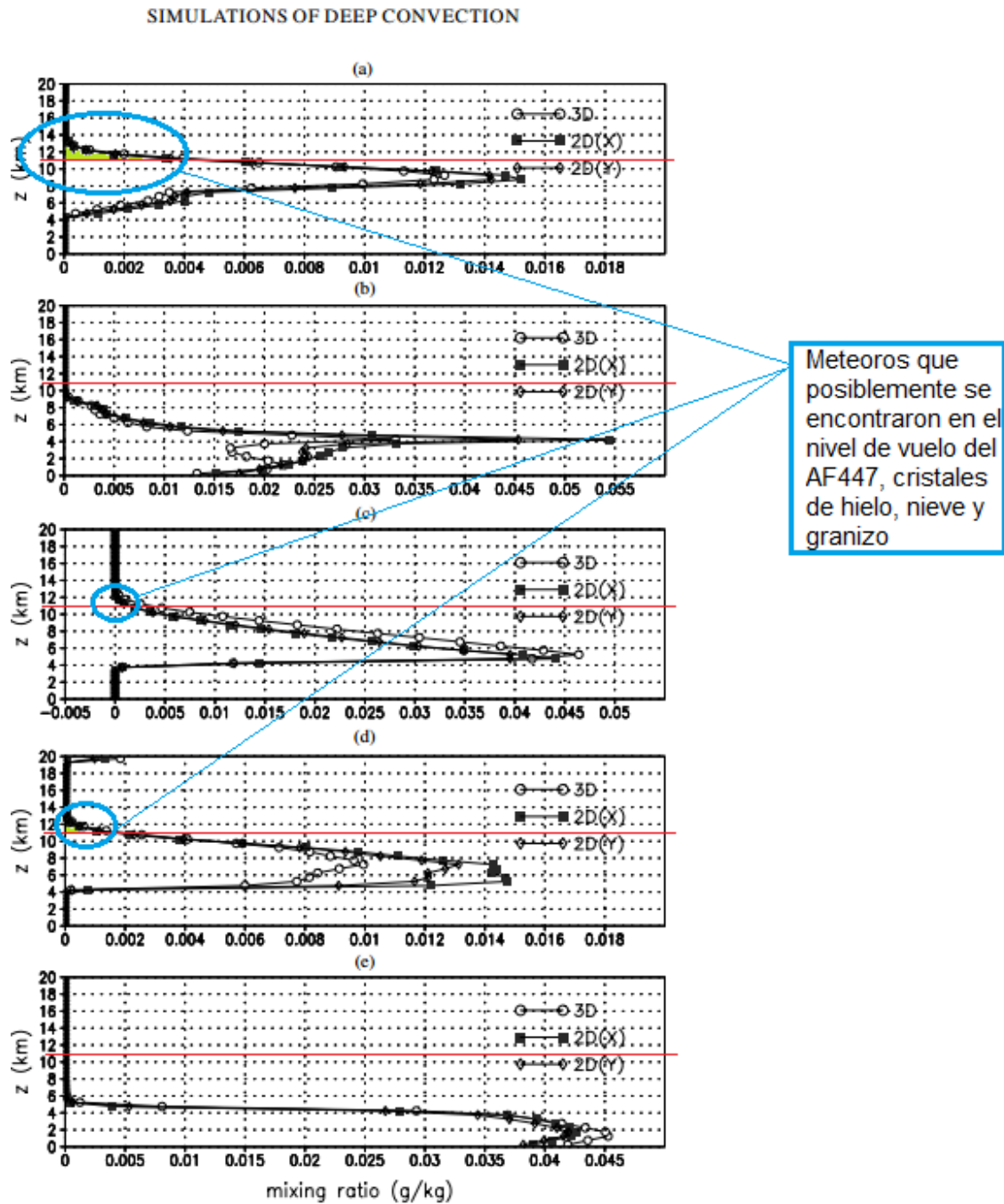
Rango de temperaturas observadas en el FL350

Altitud de la Melting Layer observada

Altitud de la Melting Layer según la ISA

**Figura A3.4.** Tabla ISA, en la que se ha marcado la posición de la melting layer y la temperatura de vuelo registrada, pudiéndose diferenciar como distan los datos observados de los esperados [37]

### A3.7. Distribución y concentración general de los hidrometeoros presentes en nubosidad fuertemente convectiva



**Figura A3.5.** a) Cloud- ice, b) Cloud liquid water, c) Graupel, d) Snow y e) Rain en 3D y en 2D(X) y 2D(Y), la recta roja indica el nivel de vuelo del AF447 [12]



### A3.8. Presencia de fenómenos propios de tormentas eléctricas

Tras examinar las transcripciones de las conversaciones en cabina, se aprecia que la tripulación hablaba sobre la extraña presencia alrededor del morro de la aeronave del Fuego de San Telmo, sobre las 01:51 UTC, es decir en la región de la tormenta ubicada en el Waypoint SALPU. El fuego de San Telmo es un meteoro ígneo consistente en una descarga de efecto corona electroluminiscente provocada por la ionización del aire dentro del fuerte campo eléctrico que se forma en las tormentas eléctricas. El color del plasma lo determina el tipo de gas, siendo azul, debido al alto contenido de nitrógeno y oxígeno en la atmosfera, desaparece tras unos minutos. Este fenómeno no representa una amenaza para la integridad de la aeronave, pero es un indicativo de que la tormenta de SALPU estaba plenamente desarrollada.



**Figura A3.6.** Fuego de San Telmo en la cabina de un A320 [27]

### A3.9. Estudio del factor de carga registrado sobre las superficies de control y el fuselaje del AF447

| Start | End   | Duration | Amplitude                 |
|-------|-------|----------|---------------------------|
| 22:30 | 23:45 | 1h15     | $\leq 0,2$                |
| 23:45 | 1:02  | 1h17     | calm                      |
| 1:02  | 1:32  | 30 min   | $\leq 0,15$               |
| 1:32  | 1:36  | 4 min    | 0,2                       |
| 1:36  | 1:45  | 9 min    | $\leq 0,1$                |
| 1:45  | 1:48  | 3 min    | 0,2                       |
| 1:48  | 1:52  | 4 min    | 0,3 – 0,4                 |
| 1:52  | 2:02  | 10 min   | $\leq 0,15$               |
| 2:02  | 2:07  | 5 min    | increase from 0,1 to 0,25 |
| 2:07  | 2:10  | 3 min    | maximum 0,5               |

Turbulencia asociada a la célula tormentosa de SALPU

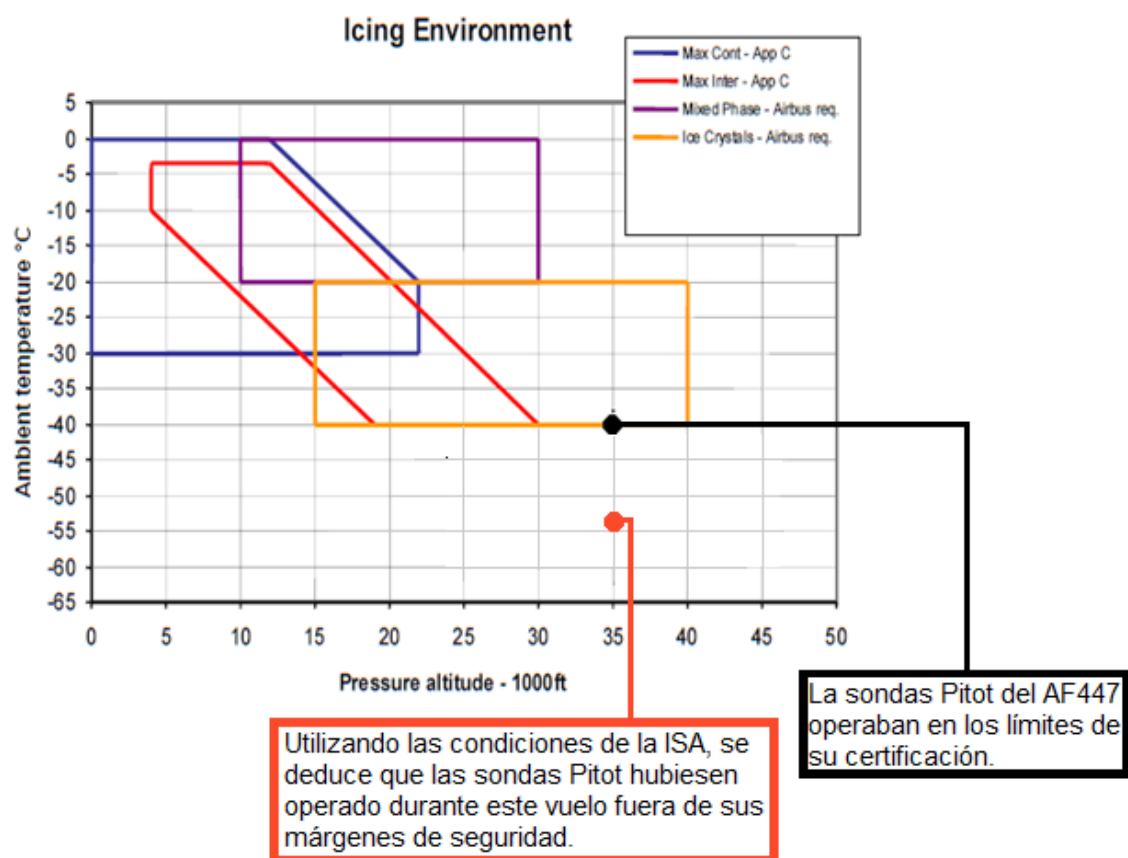
Turbulencia asociada a la región estratiforme del MCS

Turbulencia asociada a la región convectiva del MCS

**Figura A3.7.** Nivel de turbulencia observado a lo largo de todo el vuelo [14]

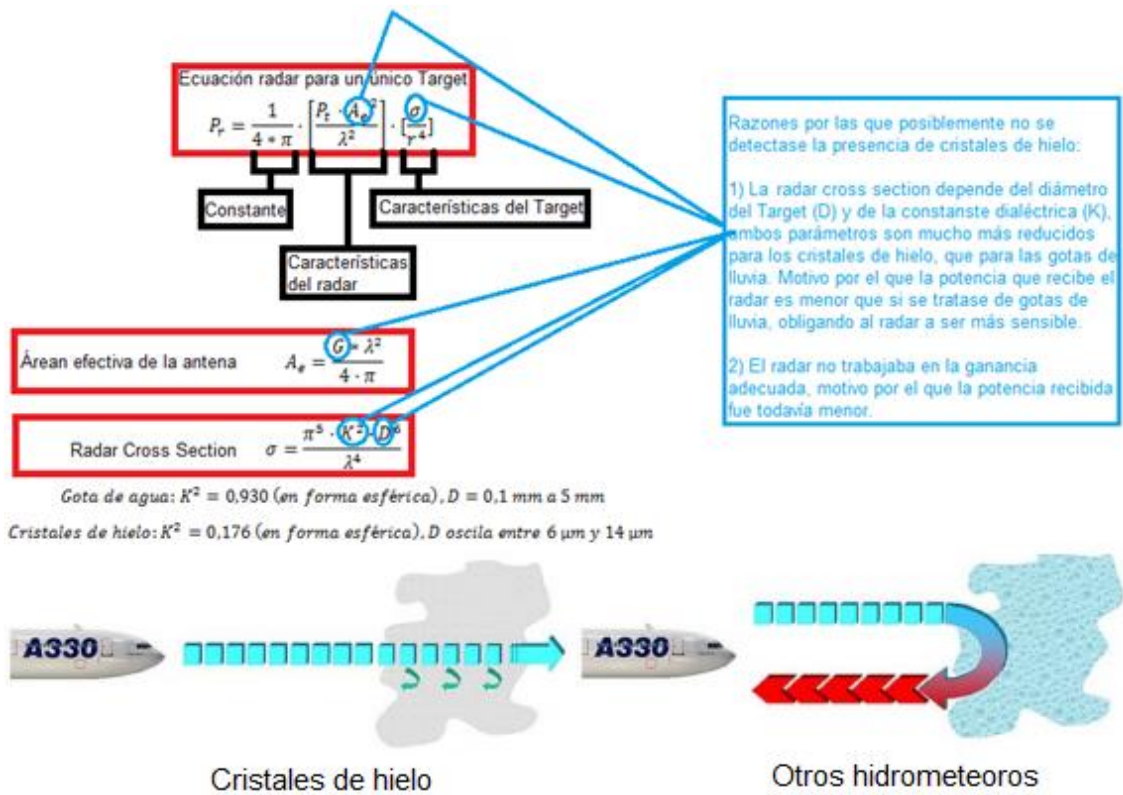


### A3.10. Certification envelope de las sondas Pitot



**Figura A3.8.** Certification envelope JAR.25.1419 de las sondas Pitot Thales C16195AA [14]

### A3.11. Detección de cristales de hielo mediante el radar meteorológico



**Figura A3.9.** Explicación mediante la ecuación radar de las dificultades para detectar cristales de hielo en la alta troposfera